

# **DIAGNOSTICO DE RCD PARA PLAQUETAS EN MUROS DIVISORIOS**



**WILSON DAVID LOSADA BERU  
LAURA ALEJANDRA MONTILLA RODRIGUEZ  
JULIETH ALEJANDRA VILLARRAGA DIAZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT  
2020**

**DIAGNOSTICO DE RCD PARA PLAQUETAS EN MUROS DIVISORIOS**

**WILSON DAVID LOSADA BERU  
LAURA ALEJANDRA MONTILLA RODRIGUEZ  
JULIETH ALEJANDRA VILLARRAGA DIAZ**

**Trabajo de grado (monografía) para optar el título como Ingenieros Civiles**

**Tutor  
NESTOR RAFAEL PERICO  
Ingeniero Civil**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT  
2020**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Girardot, 30 de julio de 2020

## **Dedicatoria**

Este trabajo es una gran bendición en todo sentido para mi vida personal y profesional, le agradezco a mi padre por su apoyo incondicional, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Wilson David Losada Beru

A Dios principalmente por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida.

Al ingeniero Néstor Perico por compartirnos sus conocimientos y experiencias las cuales fueron importantes para el desarrollo y culminación de nuestro trabajo de grado

A mis padres, hermana y abuelita ya que gracias a ellos pude obtener mi educación superior, son un ejemplo de vida, son mi motor y mi mayor inspiración, que a través de su amor, paciencia, buenos valores, me ayudaron a culminar esta etapa de mi carrera.

A mi compañero de vida por ser mi apoyo incondicional, que con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos.

Laura Alejandra Montilla Rodríguez

Primeramente agradezco a Dios, por permitirme lograr y culminar esta etapa tan importante en mi vida, gracias por tu amor y tu bondad por hacer que mis ojos brillen de felicidad, no me censan las ganas de decir que gracias a ti esta meta es cumplida, como también agradezco a Dios por colocarnos a una persona estupenda con una mente brillante el Ingeniero Néstor Perico, por compartir sus conocimientos para con migo y mi grupo agradezco enteramente a mi compañeros de trabajo Laura Montilla; Wilson Losada porque gracias también a ustedes hemos logrado esta meta que nos ha costado días de trasnochos, angustias, llantos.

Julieth Alejandra Villarraga Díaz

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecemos a Dios, al Ingeniero Néstor Perico, por compartir sus conocimientos para con migo y mi grupo agradezco enteramente a mi compañeros de trabajo porque gracias también a ustedes hemos logrado esta meta que nos ha costado días de trasnochos, angustias, llantos

## CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1 Definición del Problema	21
1.1.1 Generación del Residuos de construcción y demolición (RCD), a nivel Mundial.	21
1.1.2 Generación del RCD a nivel Latinoamérica.	23
1.1.3 Generación del RCD a nivel de Colombia.	24
1.1.4 Generación del RCD a nivel de Girardot.	28
2. JUSTIFICACIÓN	30
2.1 Humano	30
2.2 Social	30
2.3 Ambiental	30
2.4 Económico	31
2.5 Tecnológico	32
3. OBJETIVOS	35
3.1 Objetivo General	35
3.2 Objetivos Específicos	35
4. ANTECEDENTES	36
5. ESTADO DEL ARTE	39
5.1 Agregados para el concreto con materiales reutilizados de la demolición de estructuras “pruebas de resistencia a la compresión”	39
5.2 Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante	40

5.3	Ecomuros en concreto reciclado	41
5.4	Diagnostico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado	42
5.5	Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado.	43
5.6	Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de riobamba, análisis de costo e impacto ambiental	44
5.7	Estudio del uso agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de la ciudad de cali como material para la construcción de elementos prefabricados de concreto, caso de los adoquines.	46
5.8	El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana	46
5.9	Aprovechamiento y disposicion de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)	48
5.10	Aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y demolición generados por un evento adverso para la construcción de obras civiles sostenibles	48
5.11	Los residuos de construcción y demolición (RCD) y las escorias de central térmica como áridos para la elaboración de hormigones y prefabricados no estructurales. estudio en laboratorio y aplicación industrial.	49
5.12	Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concretos con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado	51

5.13	Influencia del agregado grueso reciclado de mampostería en el comportamiento del concreto reciclado	52
5.14	Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra	53
5.15	Elaboración de ladrillos de 18 huecos tipo IV con residuos de demolición y cemento	54
5.16	Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos	58
5.17	Ventajas y usos del concreto reciclado	59
5.18	Utilización de arenas procedentes de residuos de construcción y demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería.	61
6.	MARCOS DE REFERENCIA	64
6.1	Marco Teórico	64
6.1.1	Residuos de construcción y demolición RCD.	64
6.1.2	Proceso de reciclaje de escombros para el diseño de concreto.	64
6.1.3	Generación de escombros.	65
6.1.4	Clasificación de escombros.	66
	Clasificación de los RCD.	66
7.	METODOLOGÍA	78
7.1	Diseño de la investigación.	78
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES	79

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Generación de escombros.	28
Cuadro 2. Resistencia a la compresión de rocas de uso común como agregados del hormigón.	76
Cuadro 3. Dosificación de concreto de 3000 PSI	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los RCD.	66

## **<sup>1</sup>Glosario**

**ALMACENAMIENTO O ACOPIO:** es la acción de colocar temporalmente los RCD en recipientes, depósitos contenedores retornables o desechables mientras se procesan para su aprovechamiento, transformación, comercialización o se presentan al servicio de recolección para su tratamiento o disposición final.

**APROVECHAMIENTO:** es el proceso mediante el cual a través de la recuperación de los materiales provenientes de los residuos de construcción y demolición, se realiza su reincorporación al ciclo económico productivo en forma ambientalmente eficiente por medio de procesos como la reutilización y el reciclaje.

**CENTRO DE ACOPIO:** lugar donde los residuos sólidos son almacenados y/o separados y clasificados según su potencial de reusó o transformación. **Centro de transferencia:** Sitio adicional autorizado propiedad de un Centro de Aprovechamiento de RCD destinado para el acopio temporal de RCD aprovechables, cuya operación está dirigida a acortar distancias para el transportador, es de aclarar que el traslado del material a los Centros de Aprovechamiento se convierten desde allí en responsabilidad del operador del Centro de transferencia. (En estas zonas solo se acopia material que podrá aprovechar el Centro de Aprovechamiento de RCD que servirán para la elaboración de materiales de construcción). En ningún caso este podrá realizar labores de transformación. Estos Centros de transferencia deberán cumplir con las mismas condiciones ambientales exigidas a los Centros de Aprovechamiento de RCD y se autorizarán previo concepto de la Secretaría Distrital de Planeación-SDP para su localización y de la Secretaría Distrital de Ambiente- SDA para su funcionamiento. Las empresas que deseen contar con centros de transferencia deberán realizar el trámite ante la SDA.

**CENTROS DE TRATAMIENTO Y/O APROVECHAMIENTO:** sitios en donde se podrán realizar actividades de separación, clasificación, tratamiento y almacenamiento temporal de los escombros implementando las medidas ambientales que manejen los impactos generados. Pueden ser fijos o móviles.

**ESCOMBRO:** todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas. Generador: Persona natural o jurídica propietaria o administradora del bien público o privado en el que se desarrollen obras de excavación, construcción, demolición y/o remodelación o entidades responsables de la ejecución de obras públicas.

**GRANDES GENERADORES:** son los usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen superior a un metro cúbico mensual. También se considera gran generador las personas jurídicas de derecho público que realizan obras públicas, tales como redes urbanísticas de acueducto, alcantarillado, energía, teléfono, vías, puentes, túneles, canales e interceptores hidráulicos, entre otros.

**GESTOR INTEGRAL:** persona natural o jurídica autorizada que realiza actividades de tratamiento, aprovechamiento, disposición final y transporte de RCD aprovechables. Pequeños generadores o generadores domiciliarios: Los usuarios y/o suscriptores del servicio público de aseo que realizan reformas locativas menores en sus predios de uso habitacional.

**PLAN DE GESTIÓN DE RCD EN LA OBRA:** se trata de un documento basado en la elaboración de unos formatos y un documento explicativo para su correcta implementación. Dichos formatos, una vez diligenciados, conformaran los apartados que estipula la presente resolución.

**RECICLAJE:** proceso mediante el cual se procesa y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos. **Recolección:** Es la acción y efecto de recoger y retirar los residuos sólidos de uno o varios generadores efectuada por el concesionario del servicio.

**RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN – RCD-:** se refiere a los residuos de construcción y demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo, entre los cuales se pueden encontrar los susceptibles de aprovechamiento y aquellos que no lo son. **Reutilización:** Es la prolongación de la vida útil de los escombros recuperados que se utilizan nuevamente, sin que para ello se requieran procesos adicionales de transformación.

**TRANSPORTADOR:** cualquier persona natural o jurídica que preste servicios de recolección y traslado de RCD en distintos puntos de generación, pudiendo asumir o no la titularidad de los mismos. **Tratamiento:** Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las Características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de Reutilización o y se minimizan los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.

**TRAZABILIDAD:** conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos que permiten conocer el origen, tipo, ubicación, cantidad y la trayectoria, en este caso de los RCD, en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas, así como los históricos de origen, tipo, ubicación, cantidad y trayectoria para un periodo de tiempo determinado.

**SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL:** lugar autorizado destinado para recibir y acopiar de forma definitiva el material residual del aprovechamiento en las plantas y todo aquel RCD pétreo que por sus características físicas no pudo ser objeto de aprovechamiento.

<sup>1</sup>Los conceptos utilizados en este proyecto de grado, se tomaron de la resolución 01115 de 2012 de la Secretaría Distrital de Ambiente, mediante la cual se adopta los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital.

## **Resumen**

En el mundo la construcción es un medidor de crecimiento, se considera que esta conlleva grandes desarrollos y beneficios, mejorando de esta manera las condiciones de vida, generando así (empleo, incremento de la producción, etc.), En la mayoría de los países desarrollados y en los que están en vía de desarrollo como Colombia, la industria de la construcción civil y pública genera una importante cantidad de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), de lo cual, la inadecuada gestión ambiental de estos afecta la calidad ambiental en las zonas o áreas impactadas en desarrollo de las actividades propias del sector de la construcción. Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) representan un porcentaje significativo de los residuos sólidos producidos en las áreas urbanas, debido a esto, existe la necesidad de manejarlos o gestionarlos adecuadamente, adoptando acciones que permitan el desarrollo y la sostenibilidad de las ciudades y las zonas sub-urbanas y rurales adyacentes a las mismas Pero de otra manera al igual que es un beneficio, ocasiona también impactos ambientales negativos, provocando el consumo de recursos naturales, generación de ruidos, vibraciones, malos olores, polvos, residuos sólidos, líquidos, los cuales deben de ser controlados.

Los desperdicios generados por la construcción es algo inevitable ya que en el Municipio de Girardot Cundinamarca y vecinos aledaños no cuentan con una escombrera y por otro lado hay que pagar un costo muy alto por el depósito final de estos, ya que su incremento desmedido afecta el presupuesto original de una obra. La falta de manejo de estos residuos hace que no haya protección al medio ambiente, y así como la mala imagen empresarial, por lo que es necesario que las empresas adopten la gestión y procedimientos para su control, y por ende mejorar la actividad productiva de los recursos. Ante el panorama, el presente trabajo establecerá lineamientos y parámetros que permitan trazar un control para la gestión ambiental y manejo de

residuos de construcción RCD, para el municipio de Girardot Cundinamarca y municipios aledaños.

**Palabras claves:** Residuos de Construcción y Demolición (RCD), Escombros, Ciclo de vida o etapas del escombros, generador, transportador, aprovechamiento, reciclaje y disposición final, Impacto ambiental, Gestión Ambiental, Legislación Ambiental en escombros, Manejo de Residuos sólidos, Economía Circular

## **Introducción**

En el mundo la construcción es un medidor de crecimiento, se considera que esta conlleva grandes desarrollos y beneficios, mejorando de esta manera las condiciones de vida, generando así (empleo, incremento de la producción, etc.). En la mayoría de los países desarrollados y en los que están en vía de desarrollo como Colombia, la industria de la construcción civil y pública genera una importante cantidad de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), de lo cual, la inadecuada gestión ambiental de estos afecta la calidad ambiental en las zonas o áreas impactadas en desarrollo de las actividades propias del sector de la construcción. Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) representan un porcentaje significativo de los residuos sólidos producidos en las áreas urbanas, debido a esto, existe la necesidad de manejarlos o gestionarlos adecuadamente, adoptando acciones que permitan el desarrollo y la sostenibilidad de las ciudades y las zonas sub-urbanas y rurales adyacentes a las mismas.

De esta manera ocasionando impactos negativos ambientales como el consumo de recursos naturales, generación de ruidos, vibraciones, malos olores, polvos, residuos sólidos, líquidos, los cuales deben de ser controlados; de ahí proviene la necesidad de crear ambientes seguros y saludables en el trabajo y disponer de procedimientos para el control de desperdicios de los procesos constructivos, observando las leyes reglamentos y normas que rigen. La industria de la construcción, además de ser una de las actividades de mayor impulso económico y desarrollo, trae consigo consecuencias inevitables, producidas por la presencia de Residuos de Construcción y Demolición, denominados RCD." Los RCD son considerados, a nivel mundial, como un problema. En cuanto en la parte ambiental y social para todas las ciudades, la correcta gestión de residuos puede abrir puertas para un nuevo mercado de trabajo, ideal para el sector en la construcción que está en crecimiento y necesita gestionar sus residuos, o para aquellos países en

los que este sector se estancó y las oportunidades se basan en la rehabilitación de lo cual, el manejo de la política ambiental cobró vigencia y prioridad como forma de garantizar el desarrollo sostenible del país. Desde entonces, las nuevas políticas ambientales se han dirigido a preservar, conservar y proteger los recursos naturales, además a defender los derechos que tienen los colombianos a disfrutar de un ambiente sano. (otros, 2018).

2 Tal como se expuso en el marco de la ponencia “Manual de manejo de residuos de construcción y demolición para obras en Bogotá” por Carlos César Parrado Delgado PhD en contaminación y recursos naturales. Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de Residuos de la Construcción y Demolición – RCD- en el Contexto del Programa Basura Cero- Escombros Cero. Realizado del 4 al 6 de diciembre del 2012. Hotel Tequendama. Bogotá. D.C.

Con la expedición de la Resolución 541 de 1994, el Ministerio del Medio Ambiente ha regulado en Colombia el manejo de escombros en las obras de construcción, dado que dichas obras generan impactos ambientales negativos y positivos, los primeros, afectan el espacio público y privado, en general el ambiente de las comunidades urbanas y rurales, a partir de esta norma se prohíbe el uso del espacio público para el almacenamiento temporal o permanente de los materiales y elementos, también se regula el transporte, almacenamiento, cargue y descargue de este tipo de residuos, igualmente se plantea el tema de su disposición final para lo cual se establecen unos criterios técnicos para la localización y manejo de las denominadas "escombreras municipales". En cuanto a los impactos positivos, es bien sabido que el sector de la construcción es dinamizador de la economía colombiana, siendo este el de mayor generación de puestos de trabajo con mano de obra calificada y no calificada, es incuestionable el aporte que dicho sector hace a la sociedad del país, no obstante, lo que se requiere es que la actividad se desarrolle de forma sostenible y propenda por la conservación y protección de los recursos naturales.

Para el caso particular del Municipio de Girardot Cundinamarca, con un crecimiento tanto en población como en construcciones, esta no cuenta con un sistema articulado de manejo y disposición de RCD, a pesar de que existe la mencionada norma que los regula desde el año 1994, es decir, han transcurrido para el año 2020 un poco más de 25 años, sin la aplicación efectiva por parte de las Autoridades gubernamentales correspondientes de lo preceptuado en dicha norma y que atienda los principios rectores establecidos en la Ley 99 de 1993. Lo mencionado con anterioridad, la sociedad de la Ingeniería civil del sector de municipio de Girardot Cundinamarca, a un no han generado iniciativas importantes con miras al manejo adecuado del RCD, por el contrario se llevaban a cabo malas prácticas como son la utilización de utilizar espacios públicos (botaderos a cielo abierto) para estos desechos finales la contratación de transportes inadecuados, e incluso, ilegales en materia de incumplimiento de la regulación de transportes y tránsito, entre los que se destacan, los denominados carretilleros y volqueteros, y el incumplimiento de la normatividad ambiental. Todo esto está sucediendo a pesar que la empresa de aseo público. Actualmente no hay registros de cantidades de RCD generados en el municipio de Girardot, aun así en el PMA presentado a la CAR para la autorización de la construcción de la Escombrera Municipal, se ha calculado un dato aproximado basado en el registro de m<sup>2</sup> licenciados entre el 2012-2014, producción de escombros anual 56.336 m<sup>3</sup> según la PMA “dato Extraído de (tabla 2-20 generación de escombros)” (Alcaldía, 2017).

La cantidad total de residuos RCD que se generan el Municipio de Girardot Cundinamarca se desconoce ya mencionado con anterioridad, puesto que no se ha cuantificado el volumen real que no llega al mencionado relleno sanitario, ello debido a que no existen controles efectivos por parte de las autoridades urbanas correspondientes, el dato promedio que se conoce es por medio de una consultoría y dirección de proyectos S.A.S, quienes realizaron

investigaciones y promedios con el fin de la aprobación de una escombrera municipal pero la cual no ha sido aprobada por la CAR, propuesta que se realizó para del año 2016 la cual hasta el día de hoy no ha tenido desarrollo alguno ni respuesta. (Alcaldía, 2017).

Para adelantar el presente trabajo de investigación se ha requerido de información primaria y secundaria de fuente primaria, obtenida con los distintos actores que participan en las etapas del manejo de los RCD en el Municipio de Girardot Cundinamarca., además de información secundaria referente al Tema. Se espera que el producto de la presente investigación genere un documento que sirva de guía para que posteriormente se adelanten las acciones necesarias para implementar un modelo de gestión ambiental que propicie las buenas prácticas en el sector de la construcción, relacionadas con el manejo de los RCD y por ende la reutilización y el mejoramiento de las condiciones ambientales del área urbana y zona rural afectadas por la problemática planteada. Con el fin de darles reutilización a estos RCD extrayendo material de agregados gruesos (grava) con el fin de realizar construcción de plaquetas prefabricadas para muros divisorios y mejorar el impacto negativo que la industria de la construcción ha generado.

## **1. Planteamiento del Problema**

### **1.1 Definición del Problema**

#### **1.1.1 Generación del Residuos de construcción y demolición (RCD), a nivel Mundial.**

Martínez (2020) afirma que a nivel mundial no existe consenso sobre el volumen total generado de RCD, todos los procesos productivos originan residuos, siendo la construcción una de las industrias con mayor generación. Este tipo de residuos reciben internacionalmente el nombre RCD, y originan diversas problemáticas, como la contaminación de los suelos y acuíferos por los vertidos incontrolados, el deterioro del paisaje y la eliminación sin reciclado o reutilización. A nivel mundial son conocidas las problemáticas que involucran la correcta gestión de los RCD y en particular, su gestión de fin de vida. Los países más desarrollados en la gestión de residuos alcanzan tasas de recuperación muy altas, siendo de 100% en Malta, 100% en Holanda, 96% en Reino Unido, 94% en Alemania y 90% en Dinamarca.

En Europa, la Directiva 2008/98/CE establece los conceptos básicos y las definiciones relacionados con la gestión de residuos e incluye dos objetivos de reciclado y recuperación para 2020. El primero corresponde al 50% de preparación para reutilización y reciclaje de ciertos materiales de desecho de los hogares y otros orígenes similares a los hogares. El segundo se refiere al 70% de preparación para reutilización, reciclaje y otra recuperación de los RCD. La Directiva exige que los Estados miembros adopten planes de gestión de residuos y programas de prevención para poder revertir el panorama actual y alcanzar un sistema más sostenible. La generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en la Unión Europea (UE). Presenta diferencias notorias entre los Estados Miembros, se observa que los residuos totales alcanzaron los 2.503 millones de toneladas en el 2014. Por otro lado, los RCD representan entre el 25% y el

30% de todos los residuos generados en la Unión Europea, más de 800 millones de toneladas por año, y aunque dentro de ellos se pueden incluir numerosos tipos de materiales: hormigón, ladrillos, yeso, madera, vidrio, metales, plástico, solventes e incluso tierra excavada, muchos de los cuales se pueden reciclar por separado. Puede decirse que en general, los residuos de la construcción son de los más pesados y voluminosos. Es por tanto el sector de la construcción uno de los principales productores de residuos, superado tan solo por los residuos urbanos.

La situación en Asia varía mucho de un país a otro. A excepción de Corea y Japón, existe poco conocimiento y concienciación sobre las prácticas de construcción eficientes. En general, en estos países se genera un 40% de RCD, que prácticamente no se recicla, investigadores como Chávez et al. (2014) y Mena y Valdés (2014) han estudiado el comportamiento de los materiales reciclados provenientes de los escombros. Han encontrado que los componentes de estos agregados tienen semejanza a los obtenidos de forma natural. En Holanda desde el año 1997 y en Flandes desde 1998 se utiliza como alternativa la aplicación de restricciones y prohibiciones sobre el vertido de los RCD. En el caso de Alemania, siguiendo el mandato contenido en la “Ley de Ciclos”, los residuos recuperables de RCD no deben ser vertidos, y Austria obliga por ley a separar (demolición selectiva) y reciclar estos residuos desde el año 1993. Finalmente, Suecia prohíbe el vertido de residuos combustibles desde el 2002 y de materia orgánica a partir del 2005, en el que se incluye el vertido de los RCD (Suarez, 2018).

Es bien sabido que las actividades de construcción a nivel mundial son el 90 % del crecimiento urbano que tiene lugar en los países en desarrollo quienes triplican sus áreas edificadas entre el 2000 y 2030, en donde se estima un lapso de construcción de 400.000 kilometro, equivalentes a toda la superficie urbana construida en todo el mundo (Tobon, 2013-2014).

### **1.1.2 Generación del RCD a nivel Latinoamérica.**

En Latinoamérica, Brasil ha sido el primer país a establecer políticas para la correcta gestión de los RCD, obligando a los constructores a dar un mejor manejo a los residuos generados e incentivar la clasificación de éstos en obra. En Brasil, la cantidad de RCD varía entre 230 y 760 kg/habitante/año, dependiendo de la ciudad estudiada; también se estima que en algunas localidades dichos volúmenes lleguen a ocupar el 50% del vertido total. En el sur de Brasil se catastraron 20 obras que generaron un promedio de 0,128 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> a 0,162 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> construido a la vez, se han fomentado elementos estratégicos de gestión en las constructoras, pero no se han mostrado efectivos aún. También, se han introducido mejoras en el control y la eliminación de los vertidos para prevenir la degradación del entorno. En otros países latinoamericanos, como Colombia, México y Argentina, la gestión y el manejo de los RCD ya están ordenados. Sin embargo, las normas no son cumplidas por parte de muchos de los agentes relacionados, perjudicando el entorno y aumentando la cantidad de escombreras ilegales. Otra iniciativa chilena es el Programa Construye 2025, que es un programa de acción público-privado que busca activar la sustentabilidad en el sector de construcción, considerando todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, desde el suministro de materiales hasta el final de la vida útil de la edificación. Dicho programa promueve una mayor eficiencia en los procesos, desarrollo tecnológico, industrialización, estandarización, plataformas de gestión de proyectos, fortalecimiento del capital humano y educación de los clientes. También busca mejorar la productividad de la industria de la construcción y transformarla en un referente internacional. El programa Construye 2025 propone alcanzar los desafíos pendientes en Chile, crecer al ritmo de los últimos 30 años (4,1% per cápita) para alcanzar a España en 2025 y a EE. UU, en 2035 y ampliar las oportunidades para reducir las enormes desigualdades actuales. Para cumplir estos

objetivos, resulta adecuada la adaptación de los modelos que ya están en funcionamiento, como el del caso español. A modo de ejemplo de todo el trabajo que queda por hacer en Chile, se debe señalar que hoy en día solo hay siete sitios para disposición final de residuos de construcción en toda la Región Metropolitana y aproximadamente cinco más en todo Chile (Cereceda, 2018).

### **1.1.3 Generación del RCD a nivel de Colombia.**

En Colombia Bogotá D.C no es ajena a esta dinámica para el 2050 serán un total de 9.5 millones de habitantes lo cual demanda un área adicional construida del 26% con respecto a lo que tenemos hoy en la ciudad. (Secretaría de Planeación Distrital, 2013).

Estos procesos masivos de urbanización son inevitables ya que son y serán el centro de nuestro futuro ambiental al implicar el reto de usar los recursos disponibles, y cada vez más escasos de la forma más práctica y eficiente posible, en el cual se espera que el sector de la construcción de obras públicas sea un gran contribuyente hacia la transformación sostenible de realidades. La demanda de concreto en Colombia ha venido generando un aumento en la explotación de agregados, según el DANE, En febrero de 2020, la producción de concreto premezclado fue de 580,7 miles de metros cúbicos, lo que significó una disminución de 6,5% frente al mismo mes de 2019, en el que se produjeron 620,8 miles de metros cúbicos. En lo corrido del año, enero-febrero de 2020 la producción de concreto premezclado alcanzó un volumen de 1.056,5 miles de metros cúbicos, presentando una variación de -7,3% en comparación al mismo periodo del año anterior, en el cual se produjeron 1.139,6 miles de metros cúbicos (DIAN, 2020).

Bogotá y Medellín son las ciudades en Colombia que más han trabajado el tema de la gestión ambiental de los RCD. En las demás ciudades, incluida Barranquilla, los avances en este sentido son aún incipientes, lo cual, es distinto en otras latitudes del mundo. En ciudades de

países como Holanda, Finlandia, España, Austria que vienen desarrollando diversos modelos de gestión ambiental y técnica de estos residuos que incluyen lineamientos de gestión ambiental que permiten mejorar las prácticas y el aprovechamiento de los mismos. Por otro lado, según información establecida en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS - de Barranquilla 2016 - 2027, en la ciudad de Barranquilla se recogen por parte de la empresa de aseo público domiciliario en promedio 1.896,3 toneladas de escombros al mes (Urzola, 2016).

Ante esta realidad, la insuficiente prevención de la producción de residuos en origen así como el escaso reciclado de los que se generan, la Secretaría Distrital de Ambiente reguló el aprovechamiento de RDC a partir de septiembre de 2012 estableciendo que un porcentaje no menor al 5% del total del material requerido por las actividades constructivas en volumen o peso, provengan de centros de tratamiento y/o aprovechamiento legalmente constituidos o de la misma obra. Cada año la meta se incrementa en cinco puntos porcentuales hasta alcanzar mínimo un 25% a partir de agosto del 2013 (Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot, 2016).

El sector de la construcción es uno de los mayores motores de la economía del país, arrastrando consigo más de 28 mini sectores que prestan servicios u ofrecen productos para el correcto desarrollo de la actividad constructiva, volviéndose así un generador de empleos por excelencia y un referente del crecimiento y el desarrollo nacional. Pero aunque esto suene muy alentador, lamentablemente también se ha vuelto un generador de problemas (RCD), convirtiéndose así, en uno de los sectores más contaminantes, además de ser uno de los menos amigables con el medio ambiente. A pesar de que existen muy pocos estudios y datos actualizados a nivel nacional, Ingeniería y Construcción Colombia obtuvo los siguientes datos de producción de residuos de construcción y demolición de las ciudades con mayor tonelaje por año,

que conjuntamente representan más del 50% de los RCD generados a nivel nacional (Martinez Albornoz, 2019).

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO<sub>2</sub> y el 40% de los residuos, además de consumir el 60% de los materiales extraídos de la tierra. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia en promedio el 20% de todos los insumos y materiales empleados en la obra. Así que nos encontramos en un dilema: ¿es la construcción en Colombia un solucionador o un generador de problemas?, ¿son estos problemas lo suficientemente valiosos para la economía y el desarrollo del país como para seguir generándolos?, y lo último pero no menos importante: ¿qué vamos a hacer o estamos haciendo al respecto? Este oscuro pero tan desapercibido panorama, acompañado de estas cifras alarmantes y más que preocupantes para el medio ambiente, contribuyeron a que se expidiera la resolución 0472 del 2017, la cual reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición RCD generados en las actividades de construcción y demolición en el país. (Martinez Albornoz, 2019)

Según en el artículo de ingeniería y construcción quien fue escrito por Gustavo Martínez Albornoz quien es especialista en construcción de obras civiles, "menciona que en Colombia es alarmante la cifra ya que consume 22.000.000de toneladas de residuos de construcción de demolición de RCD al año" (2019).

En consecuencia, la industria de la construcción en el Distrito Capital deberá pasar de niveles casi nulos de reutilización y reciclaje de RCD desde el origen a elevar de manera constante la cantidad de material aprovechado superando las metas preestablecidas. No obstante, la evidencia empírica en otras ciudades densas del mundo con desarrollos urbanos acelerados en la última década e incrementos en los impactos de los RCD en sus poblaciones indican que la

eficacia de la aplicación de regulaciones gubernamentales es limitada. Estudios en países europeos y asiáticos confirmaron que la gestión de RCD se percibió con una prioridad baja en los proyectos de infraestructura, encontrando que el respeto del medio ambiente no ha estado en la agenda del personal de alto nivel en las empresas constructoras, y sostienen que las partes involucradas como clientes, contratistas e ingenieros adoptan prácticas de gestión sostenible de RCD en dichos lugares en la medida que perciban beneficios económicos adicionales o les sea mucho más costoso verter, -así sea de manera controlada-, a una escombrera que separar, clasificar, reutilizar y reciclar los residuos de construcción. Por tanto, la falta de instrumentos financieros ha sido considerada como un factor importante que obstaculiza la eficacia de gestión de RCD al ser la principal preocupación para los actores de esta industria, bajo este marco, propuestas de mercado y de gestión pueden ser complementarias a las regulatorias (Suárez, y otros, 2018).

(Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2013), para las empresas en cuanto a costos por su disposición final. En el municipio de Girardot – Cundinamarca se presenta diversos aspectos, entre los cuales encontramos que al no tener una escombrera en el municipio según el POT y la no autorización de la CAR, las obras de menor proporción depositan los escombros en lugares no autorizados. Por otro lado, por ser una zona de crecimiento urbano las constructoras tienden a pagar altos costos para la disposición del RCD. La falta de tratamiento origina impactos negativos ambientales, al igual que la falta de políticas públicas de gestión que originan incremento en la generación de RCD producidos por la construcción en el Municipio de Girardot y vecinos aledaños, elevando la producción y consumo en grandes cantidades de materias que son extraídos de los recursos naturales del Municipio y se retribuyen al medio

ambiente en materias primas totalmente deterioradas que amenazan potencialmente la integridad de los recursos renovables y no renovables (Cereceda, 2018).

(Suárez y otros, 2018) mencionan que “La cantidad de materiales de construcción utilizada en la ejecución de obras, representa una serie de inconvenientes, por ejemplo, ambientales, debido al destino final de los RCD, y económicos, porque tienen un valor no aprovechado entre el 15 y 25% del valor de la obra final”. Por ello, es necesario recurrir a soluciones alternativas como el reciclaje y la reutilización de los desperdicios generados en actividades de construcción, haciendo uso de materiales como agregados residuales. La posibilidad real de reciclaje y re-uso de los residuos que contribuye a un control técnico, económico, impacto social y ecológico que ayude a la sociedad.

#### **1.1.4 Generación del RCD a nivel de Girardot.**

Actualmente no hay registros de cantidades de RCD generados en el municipio de Girardot, aun así en el PMA presentado a la CAR para la autorización de la construcción de la Escombrera Municipal, se ha calculado un dato aproximado basado en el registro de m<sup>2</sup> licenciados entre el 2012-2014, producción de escombros anual 56.336 m<sup>3</sup> según la PMA (Alcaldía, 2017).

#### **Cuadro 1. Generación de escombros.**

Parámetro	Valor
Promedio anual de m <sup>2</sup> licencias periodo 2012-2014	316.495 m <sup>2</sup>
Indicé de generación de RCD para Girardot	0,178 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Producción anual de escombros	56.336 m <sup>3</sup>
Vida útil estimada de la escombrera	12,7 años

(Alcaldía, 2017).

En síntesis, la problemática que presenta el Municipio de Girardot Cundinamarca relacionada con la gestión o manejo de los residuos RCD, se debe a diversos factores, dentro de los cuales están, el incremento constante y acelerado de los RCD, la inadecuada gestión ambiental de los mismos, la contaminación o afectación negativa de los recursos naturales, el incumplimiento de las normas atinentes al sector, y la carencia de lineamientos e instrumentos de gestión ambiental para su adecuado manejo, aprovechamiento y valorización (Alcaldía, 2017).

En este contexto, la presente investigación pretende dar respuesta a la siguiente hipótesis:

La fabricación de un nuevo tipo de plaqueta prefabricado, a partir de residuos de la construcción, es una alternativa viable y sustentable para su desarrollo en el municipio de Girardot.

Formulación del problema de investigación (pregunta de investigación)

¿CON BASE EN EL ESTADO DEL ARTE CUAL ES A POSIBILIDAD DE UTILIZAR RCD EN ADOQUINES Y MUROS DE CONCRETO?

## **2. Justificación**

### **2.1 Humano**

Con el fin de conservar y aumentar de manera importante la seguridad en los hogares y una mayor comodidad a quienes la habitan, es importante satisfacer las necesidades de las personas, ya que a final de todo es quien merece sentir un hogar cómodo y seguro.

### **2.2 Social**

La construcción de plaquetas ecológicas contribuye al crecimiento del país y a una renovación en la parte ambiental de forma tal que se retribuya de una manera u otro todo lo que la naturaleza ha aportado. Este tipo de proyectos busca satisfacer las necesidades de la sociedad a la hora de buscar un hogar el cual sea cómodo y asequible, por otro lado, abre una fuente de trabajo desde la parte de la recolección, elaboración y ensamble de la plaqueta.

### **2.3 Ambiental**

El impacto ambiental se disminuye debido a la reducción de aquellos materiales los cuales son extraídos de vertederos de ríos como lo son el agregado fino causando alteraciones en la calidad y caudal del mismo. Por otro lado, está el agregado grueso el cual es explotado a cielo abierto desde una cantera y este conlleva a la eliminación de capas de tierra. Posterior a esto se transporta hacia el lugar requerido debido a esto generara emisiones de CO<sub>2</sub>. Se llega a la conclusión de que con este tipo de reciclado se contribuye a la construcción sostenible. En la actual situación ambiental del Municipio de Girardot, ha manifestado diversos problemas, como el agotamiento de los recursos naturales, el cual se debe al crecimiento económico y poblacional en los últimos años.

Dada esta situación, la Administración Municipal y las Empresas de Servicios Públicos, deben generar Proyectos y metas que permitan un Desarrollo Sostenible, tanto en la zona Rural como en la Urbana. La disposición final de RCD en el municipio de Girardot se realiza en un predio de carácter privado, cuya gestión obedece únicamente al generador y/o persona particular (volquetero). Bajo este contexto el aprovechamiento y una gestión adecuada de los residuos de la construcción y demolición y de los materiales reciclados, que incluya una manipulación correcta de residuos peligrosos, puede suponer grandes beneficios en cuanto a la sostenibilidad y la calidad de vida, además de económicos. De esta manera y teniendo en cuenta el concepto y apostando por una economía circular, el reciclaje y valorización de los RCD disminuiría el consumo de áridos naturales y el consiguiente impacto ambiental y consumo de energía en su extracción y elaboración.

#### **2.4 Económico**

“El impacto económico refiere a una plaqueta convencional la cual está compuesta por dimensiones de 97cm X 97cm X 3cm el cual tiene un costo de 20.000 c/u y la casa prefabricada con 36 m<sup>2</sup> de área el cual está compuesta por tejas en fibrocemento, puerta principal en hierro y puertas secundarias en madera con marco de hierro, las ventanas constan de 2 dimensiones diferentes las cuales son en hierro, el cual comprende de una serie de equipos y herramientas para realizar el ensamble de las plaquetas que son la mezcladora de concreto, pulidora, taladro, plomada, martillo y palustre, esta casa cuesta 8.200.000”(M. Rodríguez, comunicación personal, 7 de mayo del 2020). La acción de triturar el hormigón se puede hacer en el sitio del proyecto o en las plantas de reciclaje cercanas, eliminando el transporte a sitios de disposición distantes y el transporte de agregado natural. En un entorno urbano los desechos de hormigón se transportan a un sitio de trituración que generalmente está más cerca del centro del área urbana. Por lo tanto,

menos distancia de transporte es menos combustible quemado en la entrega. El RCD es una excelente opción para aumento de ingresos mediante la creación de emprendimiento el cual consta de una materia prima que está al alcance de todos, en el ayudara no solo al municipio o ciudad en la recolección de este material y disminución a la contaminación ambiental.

## **2.5 Tecnológico**

La innovación en este caso, se refiere a los materiales y procedimientos utilizados para obtener productos con formas y aplicaciones similares a otros tradicionales, pero con ventajas técnicas, económicas y ecológicas. La tecnología descrita es ecológica porque recicla residuos que en gran parte son dispuestos y acumulados en lugares no autorizados como lotes baldíos produciendo degradación al entorno o cerca a los cauces de los ríos

La ejecución de obras de infraestructura en el sector público y privado, en todo el mundo, ha impulsado el fortalecimiento de una de las actividades económicas más rentables y generadoras de desarrollo como la industria de la construcción. Por otro lado, estudios revelan que la desviación del RCD a la escombrera y la reutilización del mismo genera grandes beneficios para la sociedad, a nivel, económico, medio ambiente, como también la creación de nuevos puestos de trabajos, y generando de esta manera extensión de vida útil del relleno sanitarios, reducción de demandas de material originado de canteras, lo cual ayuda a la preservación del suelo y el habitat (Tobon, 2013-2014).

En Colombia es preocupante y alarmante el manejo inadecuado del RCD ya que se ha convertido en una problemática desbordada, debido al aumento de las actividades de construcción en los últimos años, los impactos que genera el RCD, se ven reflejados en la afectación directa

del suelo, el aire, los cuerpos de agua, además de ser unos de los principales focos que afecta a la salud pública (Tobon, 2013-2014).

En el 2013, el trabajo de tesis de maestría realizado por Gaitán Castiblanco, aborda nuevamente la problemática de los RCD en el Distrito Capital con miras a la definición de lineamientos para la Gestión Ambiental de este tipo de residuos, identificando en su estudio como elementos causales del inadecuado manejo los siguientes aspectos: Ausencia de normatividad que estimule generar menos residuos y valorizar aquellos que irremediamente se generen para su reutilización o reciclaje, deficiente planificación y control ambiental desde la generación y disposición de los RCD, falta de una gestión de residuos planificados desde el diseño mismo de las obras hasta la disposición final al ser un sector donde se aplica tecnologías netamente convencionales y por último, la actitud indiferente, falta de ética y de conciencia ambiental por parte de generadores (constructores, ingenieros y arquitectos) (Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot, 2016).

Tobón (2013-2014) Por tales razones, esta investigación propone la aplicación del uso de residuos generados en la construcción en el Municipio de Girardot Cundinamarca y vecinos aledaños, en la inclusión en un nuevo elemento prefabricado para mampostería (plaquetas para muros divisorios). Para esto, emplea una metodología experimental que plantea reemplazar materias naturales de canteras por RCD (escombros "cilindros"), que incorpora un modelo de gestión, uso y aprovechamiento de materias primas recicladas (RCD), que la convierten en una "solución que garantice un aporte a la conservación y protección del medio ambiente"

Asimismo, es una alternativa y una clara respuesta ante la cantidad de desperdicio que se genera por la construcción en el Municipio de Girardot Cundinamarca. El objetivo del proyecto es que: Se convierta en un modelo aplicable y sea replicado en otras ciudades, contribuya con la

protección del ecosistema y la reducción del impacto ambiental, aporte a la disminución de extracción de materias primas de canteras y prolongue la vida útil de estos lugares, disminuya la contaminación de vertederos, ríos, etc.... e incentive al aprovechamiento del residuo proveniente de la construcción.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

❖ Establecer los procesos para la reutilización de los RCD en la ciudad de Girardot, para fabricar plaquetas prefabricadas, con base en las experiencias sobre la materia.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

❖ Consultar los antecedentes del RCD en la región, en América Latina, y diferentes países del mundo.

❖ Estimar la propiedad de los agregados reciclados, a través del estado del arte consultado.

❖ Comparar los costos e impacto ambiental, entre la nueva plaqueta de hormigón y la plaqueta convencional.

❖ Calcular las propiedades físicas del hormigón para determinar sus características de resistencia y función del porcentaje de escombros utilizados, con base en el estado del arte

#### 4. Antecedentes

Pertuz, (s.f) asegura que: La eliminación de los residuos de construcción provenientes muchas veces de desperdicios o remodelaciones no tiene una medida correcta para su disposición final, optando muchas veces por ser depositados en lugares poco adecuados que no solo provocan un daño al medio natural por la extracción de los recursos, sino por la cantidad de residuos generados que son devueltos en forma degradada a la naturaleza. (p. 43).

Cruz & Moreno (2016) en su investigación de pruebas de resistencia a la compresión con RCD, comprueban que el material de agregado grueso como remplazo al natural, cumplen con las resistencias esperadas para la utilización del concreto en sus distintas aplicaciones, en donde realizan diferentes ensayos a la compresión con porcentajes de 20%, 40%, al momento de remplazar el agregado de 40% en su compresión se evidencia un 4% en cuanto a su resistencia siendo esta la mayor, en las otras muestra de 20% no se evidencian cambios grandes.

Al revisar los antecedentes de la dimensión normativa, se observa que la ciudad dispuso de normas específicas relacionadas e integradas con la gestión de escombros sólo a partir de 1997. Antes de esta norma, los escombros eran considerados un elemento más de los residuos sólidos urbanos y administrados bajo marco normativo de carácter nacional. Fue así como a través del decreto 357 de 1997, “por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción” se fijaron normas de conducta, lineamientos de manejo y sanciones para los que incumplieran las disposiciones. Esta normativa estableció que los residuos de construcción eran escombros y la acción posible de realizarse para su manejo es disponerlos en escombreras autorizadas.

El marco normativo nacional en RCD se encuentra compuesto por 16 leyes, 19 decretos nacionales, 30 resoluciones nacionales, 6 sentencias de las cortes y 1 documento CONPES. Para

ver detalles puede consultarse la ponencia de la abogada Lucila Reyes Sarmiento “Marco General Normativo Internacional, Nacional y Local para la Gestión y Control de los Residuos de Construcción y Demolición”. Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de Residuos de la Construcción y Demolición –RCD- en el Contexto del Programa Basura Cero-Escombros Cero (Ramirez, 2014).

Mediante Decreto N° 068 del 11 de Abril de 2017, el alcalde de Girardot conformó el Grupo Coordinador y el Grupo Técnico de Trabajo para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio, con base en la resolución N° 754 de 2014 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. El municipio de Girardot es atendido por un prestador especializado en el servicio de aseo, Servicios Ambientales SA ESP, que presta directamente y en libre competencia los componentes de barrido y limpieza, recolección y transporte y comercialización; también es el propietario y operador del relleno sanitario Praderas del Magdalena, que sirve a la ciudad de Girardot y otros municipios cercanos de Cundinamarca y Tolima. Fecha de inicio de la Prestación del servicio en Girardot, por parte de la empresa fue: 01/05/2004. (Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot, 2016)

La disposición final de RCD en el municipio de Girardot se realiza en un predio de carácter privado, cuya gestión obedece únicamente al generador y/o persona particular (volquetero). Bajo este contexto, en el municipio no se realiza aprovechamiento de RCD; la alcaldía Municipal ha identificado la existencia y actual operación de un sitio para disposición de RCD: ubicada a las afueras del municipio, vía Tocaima cerca al cementerio Jardines del Señor. De acuerdo con la visita realizada por la consultoría, el actual sitio donde se efectúa la

disposición final de RCD corresponde a un predio que se encuentra en extinción de dominio, en el cual no existe ningún control ni manejo adecuado de RCD.

De acuerdo con el expediente No. 54992 de la CAR, el municipio presento en abril de 2015 un Plan de Manejo Ambiental para la adecuación, construcción y uso de una “escombrera municipal”. El predio proyectado para su operación es propiedad del municipio, identificado bajo el No. Catastral 00-00-0002-0022-000 con un área de 6 Ha y 98.5m<sup>2</sup> ubicado en la vereda Potrerillo denominado La Escombrera a 4 Km aproximadamente del casco urbano vía Nariño en las coordenadas N. 4°16'25.38", W74°51' 6.38". El predio a intervenir se encuentra incluido dentro de un predio Matriz denominado la California, identificado con la cedula catastral No. 00-00-0002-0003-000 (Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot, 2016).

El uso del suelo del predio se encuentra definido en el POT como Zona agropecuaria semi-mecanizada o de uso semi-intensivo en suelo rural, aprobado mediante el acuerdo 024 de 2011 por el cual se adopta la modificación excepcional del Plan de Ordenamiento Territorial-POT del municipio de Girardot, Departamento de Cundinamarca. Actualmente el predio se encuentra sellado por la CAR, quien impuso medida preventiva mediante Res. DRAM 015/2015, debido al inadecuado manejo de los residuos sólidos en el lugar, como consecuencia de la ausencia en el control de la disposición de residuos de RCD y de tipo domestico por parte de particulares. El PMA de la escombrera municipal estima la ocupación de 1.8 Ha para la disposición de RCD, las restantes obedecen al desarrollo de obras complementarias y

Cobertura vegetal existente. Como instrumento de control, el municipio cuenta con comparendo ambiental reglamentado por el Decreto 332/2015, el cual establece las obligaciones y prohibiciones del generador de RCD (Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot, 2016).

## 5. Estado del Arte

### 5.1 Agregados para el concreto con materiales reutilizados de la demolición de estructuras “pruebas de resistencia a la compresión”

Cruz y Moreno (2016) En su tesis realizaron una cantidad determinada de muestras de concreto, las cuales fueron diseñadas por el método de dosificación, estas muestras realizadas de concreto convencional a diferentes resistencias. Luego de esto, el material fue triturado e incorporado en proporciones de un 20% y 40%, reemplazando este porcentaje de agregado convencional por agregado reciclado a la dosificación, para obtener cilindros de concreto reciclado y posteriormente fallarlos. Así determinar la resistencia de estos, para concluir que aplicaciones son recomendables darle a este, así mismo estos ensayos podrán llegar a ofrecer un aporte donde se mejoren las características del concreto con triturado reciclado.

En el cual se obtuvieron los siguientes resultados: se logra concluir que la utilización de concreto triturado de buena calidad como remplazo de agregado grueso natural; cumple con las resistencias esperadas para la utilización del concreto en sus distintas aplicaciones. Al momento de remplazar agregado grueso natural en un 40% se evidencia un leve cambio en su resistencia a la compresión, de un 4% siendo esta mayor a las que se obtuvieron con las primeras muestras, las cuales contenían agregado grueso natural en un 100%, mientras que al 20% no se evidencia grandes cambios en su resistencia.

En cuanto al módulo de elasticidad y rigidez, para los concretos de 3000 y 4000 psi se evidencia un comportamiento similar en ambos porcentajes lo cual nos indica que al 40% tiene una mayor resistencia a la compresión pero al mismo tiempo tiende a tener una mayor deformación lo cual no se aprecia en los de 20%, ya que su capacidad de carga fue menor y su deformación estuvo igual a los de 40%. Para los concretos de 5000 psi al 40% muestra una mayor

resistencia a la compresión y mayor deformación, al 20% su comportamiento fue de menor resistencia a la compresión y su deformación fue también menor.

Al comparar estos datos con los de otros autores, se concluye que debido a distintos agentes externos y al utilizar un diámetro de agregado grueso de 1 1/2” se obtuvo un ligero cambio en la resistencia ya que para ellos tenía una mayor resistencia los de 20% en comparación con los de 40%.

## **5.2 Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante**

Valdés y otros (2011). El objetivo principal del estudio fue determinar la viabilidad del uso de áridos reciclados para la fabricación de bloques de hormigón en Chile. La investigación se realizó en tres etapas:

La primera consistió en el proceso de recuperación de los residuos de hormigón y su caracterización física. La segunda, en el diseño de la mezcla de hormigón y sus propiedades mecánicas, según el método Faury-Joisel. La tercera, en el análisis y viabilidad del uso del material de residuo en la fabricación del nuevo material según especificaciones técnicas chilenas.

Entre los resultados se estableció que la resistencia y densidad promedio del hormigón con áridos reciclados es muy similar al hormigón con áridos naturales, y que cumple los requerimientos de la norma. Sin embargo, en el caso de los bloques de hormigón, su resistencia disminuye aproximadamente un 13% y su contenido de finos y absorción es levemente menor a la estipulada en la norma (1.03%) cuando se trata de hormigón. Se resalta que aunque existe una disminución en su resistencia, es viable el uso del árido reciclado en la fabricación de bloques de hormigón.

### 5.3 Ecomuros en concreto reciclado

Rincón (2020). Afirma que el uso de agregados reciclados ha venido haciendo carrera entre todos los productores y consumidores de concreto, ya sea en mezclas elaboradas en las obras o en elementos prefabricados, inclusive se habla ya de especificaciones y parámetros para regular y optimizar el uso de este tipo de agregado y sus productos.

De igual forma indica que uno de los usos más adecuados para incluir materiales reciclados son los bloques para muros de contención, ya que la normativa asociada a ellos, su apariencia y su uso final los convierte en elementos ideales para desarrollar e incluir agregados reciclados dentro de su masa de concreto.

Para el ingeniero Juan Carlos Rincon (2020) las características de los ecomuros son piezas prefabricadas de concreto clasificadas en la categoría de Segmental retaining Wall, SRW (National Concrete Masonry Association). Elementos que debido a su forma, peso y características, son utilizados para sistemas de contención autotrabables y autosoportados. Son elementos regulados con la norma colombiana NTC 4670 que especifica las características de la pieza y concluye que los agregados reciclados son hoy una creación más que nos acerca a la creación y construcción de obras y ciudades sostenibles.

Han existido desde hace años desarrollos de elementos prefabricados de serie (bloques, adoquines, cordones, etc.) a los cuales se les han adicionado para reemplazo de agregados materiales como vidrio, caucho, PET, papel, cerámica, y en fin cualquier material inerte que pueda darle estructura al concreto y que no perjudique notablemente las propiedades del producto terminado, lastimosamente muchos de estos elementos resultan ser más costoso o de difícil consecución a la hora de sostener una producción industrial. Igualmente el uso final de producto limita en algunos casos el nivel de adición por cambios de apariencia o de textura en los mismos.

#### **5.4 Diagnóstico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado**

Vera y otros (2016). Realizaron en su tesis realizaron ensayo de resistencia a la compresión (rotura de cilindros) y ensayo de resistencia a la flexión (Rotura de viguetas) con agregados reciclables para comprobar su resistencia y con los resultados afirman que Pueden determinar que la utilización de agregados reciclados para la elaboración de concreto nuevo es un reemplazante que cumple con las propiedades físicas mínimas para su uso como rigidez, durabilidad y trabajabilidad.

Los agregados provenientes de concreto reciclado, tienden a tener mayor capacidad de absorción, menor gravedad específica, presentan mayor desgaste y poseen buena forma en el tamaño de sus partículas. Utilizando el concreto reciclado encontramos ventajas frente a uso de agregados naturales, lo más importante es la reducción de manera considerable de la extracción de los agregados naturales para ser usados en la construcción de futuras obras civiles.

Por medio de la utilización del concreto reciclado, podemos recuperar materiales que aparentemente ya no tienen utilidad y usarlos para nuevas obras civiles y de esta manera contribuir a que no se depositen estos desechos de concreto en vertederos. Se recomienda de estos agregados provenientes de concreto reciclado para estabilizar subrasantes. Además para la elaboración de elementos prefabricados como bloques, adoquines, sardineles.

Se aliviaría en buena parte el problema de contaminación que encontramos a diario en nuestra región, que se verá beneficiada con el uso de estos materiales aumentando la capacidad de rellenos sanitarios y disminuyendo con esto la implementación de vertimientos y tiraderos clandestinos de estos materiales de desechos de construcción.

## **5.5 Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado.**

Castellanos y otros (2017) en la tesis de comparación estructural y estimación de costos, se hizo el comparativo entre materiales convencionales y RCD, aquí afirma que con la utilización RCD el costo de los agregados estructurales es de \$268.527.707,35 y con el uso de material convencional es de \$271.173.848,36 lo que nos genera una diferencia de \$2.646.141,01; se obtiene que el beneficio económico de usar RCD en una proporción del 25% en el sistema estructural es equivalente al 0,97% de ahorro, lo que nos permite concluir que los costos son más o menos equivalentes, Sin embargo el cumplimiento de certificaciones LEED para alcanzar alta calidad en las empresas, han creado una conciencia y necesidad de invertir en este tipo de procesos de aprovechamiento de RCD por su beneficio ambiental.

Los elementos no estructurales, andenes, materas, etc. Al no tener que cumplir unos requerimientos tan exigentes son una opción económicamente más llamativa a la hora de utilizar los RCD, debido a que se pueden utilizar en mayor proporción que en concreto estructural. Los agregados producto de RCD deben ser sometidos a todas las pruebas técnicas que requiera la NSR-10 antes de ser utilizados, en especial la aplicación de la prueba de cantidad de sulfatos y la prueba de azul de metileno, debido a la cantidad de aditivos que pudiera tener la fuente de estos RCD. Sin embargo se hace útil, eficiente y económico la utilización de los materiales reciclados en las obras civiles además de la reducción de los impactos ambientales.

## **5.6 Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de riobamba, análisis de costo e impacto ambiental**

Carrasco (2018) Concluye que una vez construido el elemento prefabricado (bloque) con RCD, se puede concluir que, debido a las propiedades que lo conforman, el material reciclado es una alternativa viable que garantiza las características requeridas por la norma ecuatoriana. Además, aporta a la conservación del medio ambiente y es económicamente factible. Una vez realizado los ensayos experimentales de laboratorio a los agregados reciclados de la ciudad de Riobamba, se han determinado sus características físicas, químicas y mecánicas, entre las que se identifican las siguientes propiedades principales:

Contenido de humedad: el resultado de RCD ladrillo (0.12%) y hormigón (0.61%), muestran valores con tendencia mínima en relación a los agregados naturales (5.96%). Por tal razón, se observa que el RCD, al ser un residuo proveniente de un proceso constructivo ya formado, tiene una retención mínima de agua interna, a diferencia de los agregados provenientes de cantera.

Porcentaje de absorción: los agregados de RCD ladrillo (21.61%) y hormigón (10.18%) evidencian mayor porosidad, por lo cual sus cavidades absorben agua en mayor cantidad, mientras que los agregados naturales (2.21%) son menos porosos. El RCD ladrillo sobresale como el material de mayor tendencia de absorción. Colorimetría en los agregados de RCD (ladrillo y hormigón) no muestran ningún tipo de impureza como resultado, convirtiéndolos en materiales totalmente aprovechables. Posterior a esto los ensayos a compresión y porcentaje de absorción en los bloques fabricados con RCD, se ha identificado que las propiedades cumplen con la norma ecuatoriana INEN 3066.

Por ello, el bloque con mayor contenido de residuo 100% es el mejor, caracterizado con una resistencia a compresión de 4.04 MPa, superior a lo requerido en la norma (4.0 MPa); y con un porcentaje de absorción de 23.53 kg/m<sup>3</sup>, que es menor al porcentaje máximo en la norma (208 kg/m<sup>3</sup>). Por lo tanto, se ha determinado que el nuevo bloque con áridos reciclados es óptimo para su fabricación, ya que cumple con los estándares requeridos en la norma 88 ecuatorianas.

Adicionalmente, es un modelo de prefabricado ecológico que beneficia a la conservación y cuidado del ecosistema.

Dentro de la viabilidad económica, se puede concluir que el bloque con el mayor contenido de RCD (100% de residuo) es el de mayor rentabilidad dentro del mercado. Para esto se ha considerado un TIR del 14% y un VAN anual de \$47,856.31, con un tiempo de retorno de inversión inicial de 10 años. Esto lo hace ideal para impulsar a que la industria de la construcción opte por estos nuevos productos, que no solo generan un ahorro en la ejecución de obras civiles, sino que significa una mayor rentabilidad para los productores. Así, el uso del RCD estimula la creación de nuevas oportunidades laborales en la ciudad de Riobamba. Emplear el RCD en elementos prefabricados reduce el impacto ambiental causado por la eliminación de residuos de construcción en botaderos. Al utilizarlos, también se favorece la conservación del medio ambiente, a la vez que se incentiva una sociedad con una visión sostenible. El aprovechamiento de los RCD en nuevos elementos prefabricados constructivos es una alternativa viable de gestión para la ciudad de Riobamba, que puede adoptar un modelo sustentable y generar una economía circular con una TIR. Y al mismo tiempo, e incorpora nuevos actores, sensibles a la protección del medio ambiente. De esta manera, se prioriza el cuidado del ecosistema, al aprovechar los residuos diarios en lugar de descartarlos.

## **5.7 Estudio del uso agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de la ciudad de cali como material para la construcción de elementos prefabricados de concreto, caso de los adoquines.**

Pérez (2014) En su tesis realizaron varios ensayos (Granulometría, gravedad específica y absorción de agua) de material reciclado, estos ensayos se hicieron basados en un remplazo del 100 % de los agregados en el cual se comprobó que no es viable realizar concreto reciclado con remplazos del 100%, ya que a temperaturas edades tiene una reducción en módulo de rotura de 64 % con respecto a la mezcla con agregado natural, lo cual indica que no alcanza a cumplir la resistencia exigida en la norma NTC-2017 a los 28 días.

Se apareció de acuerdo a los resultados en el ensayo de gravedad específica y absorción, que los agregados reciclados presentan mayor capacidad de absorción (9;0%) que los agregados naturales (1,8%), debido a su alto contenido en material cerámico y mortero adherido.

Se comprobó la hipótesis que la utilización de agregados alternativos RCD es de fácil aplicación e implementación en las pequeñas y mediana industrias de producción de adoquines. Remplazando pequeñas cantidades.

Se hacen las siguientes recomendaciones de que si es viable la utilización del RCD en porcentajes menores al 100%, ya que tiene propiedades similares a los materiales óptimos.

## **5.8 El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana**

Bedoya y Dzul (2015) Abordan en la revista de Ingeniería SCIELO la confección de un concreto usando agregados reciclados obtenidos de la valorización de escombros de concreto y mampostería. Se muestran aspectos como resistencia al esfuerzo de la compresión a 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días; porosidad, velocidad de pulso ultrasónico y carbonatación; costo económico en

comparación con un concreto convencional; y una reseña de las políticas públicas de Construcción Sostenible y aprovechamiento de escombros formuladas en Medellín, Colombia. La resistencia al esfuerzo de la compresión y las medidas de velocidad de pulso ultrasónico en algunas mezclas fueron del orden del 98 % de la mezcla de referencia; así mismo la mezcla confeccionada con 100 % de agregados reciclados, mostró una diferencia en cuanto a la profundidad de carbonatación de tan solo 0.7 mm con respecto a la mezcla de referencia para una edad simulada de 27 años. Los resultados obtenidos con sustituciones de agregados naturales por agregados reciclados gruesos y finos en porcentajes del 25 %, 50 % y 100 %, y el avance en los lineamientos político-administrativos de la municipalidad en los once años recientes, permiten deducir la posibilidad de confeccionar concretos estructurales y no estructurales para uso masivo en la construcción.

En este trabajo se confirma que los agregados obtenidos del reciclaje de escombros, aunque presentan diferencias en algunas de sus características, pueden ser susceptibles de emplearse

Como materias primas en un nuevo material para la construcción como el concreto, pues no todas las mezclas se requieren para uso estructural. Sin embargo, es factible confeccionar concretos de uso estructural si se observa que la mezcla con sustituciones del 25 % se mantiene prácticamente igual en su desempeño -resistencia, porosidad y costos- con respecto a la mezcla de referencia, especialmente si se tiene en cuenta que en todas las mezclas recicladas se sustituyeron los agregados gruesos y finos. En otros países se han construido importantes estructuras sustituyendo el 20 % del agregado grueso por árido reciclado, como es el caso del puente sobre el río Turia, en Valencia, España (Alaejos P., Domingo A., 2005). También en

Suiza, Andreas Leemann y Cathleen Hoffmann (2012) vienen trabajando desde 2010 en la investigación de concreto reciclado estructural con resultados alentadores.

### **5.9 Aprovechamiento y disposición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)**

García (2012) En el foro de gestión y control de riesgos de la construcción y demolición – RCD realizaron pruebas piloto con los RCD, ensayos de laboratorio y pruebas industriales húmedas y secas que pueden servir de base para la reglamentación oficial en materia técnica y regulatoria.

Esta nos da viabilidad para la implementación de esta en el concreto Concretos para vigas, columnas y placas entre otros elementos cuyas resistencias de diseño oscilen entre los 105 kg/cm<sup>2</sup> y los 210 kg/cm<sup>2</sup>, al 100 % de Adición de Agregados Reciclados.

### **5.10 Aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y demolición generados por un evento adverso para la construcción de obras civiles sostenibles**

Osorio y Rocha (2015) En su tesis de aprovechamiento de RCD el objetivo es establecer la viabilidad e importancia de la reincorporación de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD), para la reconstrucción y/o construcción de estructuras sostenibles, para esto realizó ensayos para la resistencia a la compresión y así determinar la características del concreto, una vez terminada la investigación concluyo que las características técnicas y económicas del

Concreto reciclado arroja un panorama alentador. Sus capacidades físicas y mecánicas permiten pensar en la utilización de este material reciclado en la construcción de edificios, sobre todo pensar en la recuperación y reincorporación de este tipo de residuos; en primer lugar como materia prima para elementos que no revistan un alto compromiso estructural, para luego,

después de un riguroso estudio en cuanto estabilidad química y física en el tiempo, pasar a ser parte de la estructura de edificios. Además, su costo, un 7% menos comparado con un concreto natural, es un punto de partida positivo si se tiene en cuenta que al industrializar estos procesos de reciclado y masificar su producción el costo del producto terminado disminuye.

A la entrada del siglo XXI es necesario, además, redoblar los esfuerzos para que el desarrollo sostenible sea visto como un tema transversal del desarrollo, que no solo toca el medio ambiente por sí mismo sino que está estrictamente relacionado con temas como agricultura, salud, vivienda y educación, gestión del riesgo, de manera que el ambiente no es un tema aislado de las decisiones políticas con visión de futuro.

Como recomendaciones para todos aquellos profesionales interesados en continuar con la investigación, es interesante realizar un trabajo de caracterización puntual al interior de la ciudad de Manizales, de todos aquellos puntos donde se concentra la máxima disposición final de RCD en escombreras ilegales, realizando un estimativo del lugar proyectando los principales impactos ambientales por las pésimas condiciones de disposición final. Es decir se generará un mapa de la ciudad con la identificación de los sitios más afectados Vs Estudio de impacto ambiental del lugar. Con el mapa actualizado se procederá a monitorear los lugares previa limpieza de los mismos.

#### **5.11 Los residuos de construcción y demolición (RCD) y las escorias de central térmica como áridos para la elaboración de hormigones y prefabricados no estructurales. estudio en laboratorio y aplicación industrial.**

López (2019) En la tesis de Grado en base a su desarrollo experimental, a los resultados obtenidos, y a la discusión que se ha hecho en los artículos publicados, se muestran a continuación las principales conclusiones generales a las que se ha llegado:

Sobre el uso de los áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición. Después de la realización de pruebas industriales en 4 empresas de Prefabricados de hormigón, para la fabricación de elementos no estructurales con diferentes tipos de áridos de RCD, se puede concluir que, es posible producir adoquines, bordillos y bovedillas con áridos reciclados que conserven sus propiedades esenciales cumpliendo con los requerimientos establecidos en sus normativas correspondientes. Todos los áridos reciclados estudiados cumplen hasta sustituciones de 15% aunque depende de su composición y sus propiedades se podrían llegar hasta el 30% de reemplazo.

Respecto a las escorias procedentes de centrales térmicas estima el comportamiento mecánico de hormigones con ARM, no sólo ha de tenerse en cuenta su composición, sino que otros factores como sus propiedades físicas, contenido de finos, partículas flotantes, sulfatos, etc. Es posible producir industrialmente adoquines, bordillos y bovedillas con ARM que conserven las propiedades esenciales de estos productos, cumpliendo con los requerimientos establecidos en sus normativas correspondientes en España.

Esta tesis pone en manifiesto que se pueden producir productos con ARM y escorias de GICC manteniendo las propiedades esenciales de los prefabricados y hormigones. Sin embargo hay puntos que no se han podido abordar que sería interesante estudiar en profundidad para ampliar el uso de este tipo de residuos en grandes volúmenes.

## **5.12 Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concretos con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado**

Castellanos y otros (2017) Realizó una comparación TEÓRICA (estructural y de costos de construcción) entre una estructura con concreto estructural convencional y otra con concreto estructural con RCD (Residuos de construcción y demolición) de concreto como agregado, en el diseño de una edificación regular en planta y altura de 5 pisos en la ciudad de Bogotá, en una zona de microzonificación sísmica

LACUSTRE-200. El desempeño estructural se realiza midiendo diferentes aspectos del diseño estructural tales como: derivas de la edificación, deflexión de vigas, columna fuerte- viga débil y cantidad de refuerzo necesario para satisfacer las solicitaciones.

Las mediciones y resultados de la comparación estructural de las dos estructuras se obtienen mediante la modelación en el software estructural ETABS, además de la utilización de hojas de cálculo en Excel y el software DC-CAD. El cambio que se presenta para la medición de los diseños se da en la diferenciación de la propiedad más importante que tiene el concreto, la resistencia a la compresión, la disminución del  $f'c$  del concreto con RCD es del 5% con respecto al concreto convencional, este valor se obtiene de los resultados obtenidos por los diferentes estudios técnicos antes aquí citados en los cuales se concluyó que para un remplazo del 25% de agregados naturales por RCD la reducción del  $f'c$  está entre 4-5%

Con la utilización RCD el costo de los agregados estructurales es de \$268.527.707,35 y con el uso de material convencional es de \$271.173.848,36 lo que nos genera una diferencia de \$2.646.141,01; se obtiene que el beneficio económico de usar RCD en una proporción del 25% en el sistema estructural es equivalente al 0,97% de ahorro, lo que nos permite concluir que los

costos son más o menos equivalentes, Sin embargo el cumplimiento de certificaciones LEED para alcanzar alta calidad en las empresas, han creado una conciencia y necesidad de invertir en este tipo de procesos de aprovechamiento de RCD por su beneficio ambiental.

### **5.13 Influencia del agregado grueso reciclado de mampostería en el comportamiento del concreto reciclado**

Cruz (2013) En su tesis para evaluar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto reciclado con presencia de agregado grueso de mampostería, dieron como resultado que la porosidad de los agregados reciclados y la superficie rugosa de los mismos, generaron leves dificultades en el manejo en estado fresco del concreto.

La manejabilidad de los concretos con mayores contenidos de agregado reciclado AR de concreto RC y ladrillo RM disminuyeron su valor en cuanto se aumentaba el contenido de AR en un rango de 5 a 10% con relación a la manejabilidad obtenida en la muestra de control. Todos los

Resultados obtenidos cumplieron los requisitos solicitados inicialmente, este comportamiento puede ser atribuido al contenido de humedad de los agregados al momento de la fabricación del concreto, dado que estos se encontraban a la intemperie parcialmente saturados.

En la mayoría de los casos las propiedades mecánicas y de durabilidad se vieron afectadas por el uso de agregados reciclados RC y RM, presentando un comportamiento generalizado de reducción de resultados frente a los presentados por la muestra de control. Los concretos con mayores pérdidas en la resistencia a la compresión son los que contienen altos porcentajes de agregados RC y RM. Sin embargo, los concretos con RM de 3 y 6% de contenido de ladrillo a 28 días lograron superar tanto la resistencia de control como la del concreto con agregado RC,

mientras que la pérdida más alta de resistencia la presentó la muestra con contenido del 10% de RM, siendo del 12% con relación a la de control.

#### **5.14 Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra**

Poveda (2015) Su tema central de la investigación es el reciclaje, clasificación, y posterior reutilización de los residuos de construcción y Demolición (RCD), para la elaboración de un prototipo de adoquín que funcione dentro de un proyecto arquitectónico como un elemento no estructural, cumpliendo con los requisitos mínimos tomando como base la normatividad vigente como es la a Norma Técnica Colombiana (NTC 2017), las cuales dará las pautas de resistencia y demás propiedades con las que debe cumplir tal elemento.

Realizado a través de un tratamiento de triturado y granulometría que le permita realizar una selección de los materiales adecuados, logrando así de esta forma el adoquín en concreto se puede elaborar directamente en las diferentes obras, mediante un sistema de reciclaje, desde que se cuente con un área mínima de 70 m<sup>2</sup> para el montaje de maquinaria la cual está constituida de máquinas tales como la trituradora, vibro compactadora, mezcladora y las repisas para que reposen los adoquines, por lo que no serán aptas para obras de menos de 1000 m<sup>2</sup>, ya que se debe tener en cuenta del mismo modo la generación de escombros, la cual se consideró de 0.21 m<sup>3</sup> de residuos aprovechables por m<sup>2</sup> construido, por lo que una obra de menor área, primero no contaría ni con el espacio para ensamblar el adoquín elaborado, ni con el área suficiente para

Montar el sistema. La caracterización y análisis de los escombros permitió conocer primero cual es el de mayor generación dentro de las obras siendo este los elementos cerámicos, seguido por los residuos de concreto, escombros óptimos ya que presentan una homogeneidad



siguió con los requerimientos establecidos en la norma E 0.70 para la evaluación de las propiedades físicas mecánicas del ladrillo.

La metodología utilizada para la elaboración y evaluación de las propiedades físicas mecánicas del ladrillo de 18 huecos tipo IV fabricado con residuos de demolición cemento y agua se muestra a continuación.

Los RCD utilizados para la fabricación del agregado reciclado pertenecen a la clase escombros, específicamente material de demolición no clasificado según la NTP 400.05.

#### MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

Se observó claramente que los residuos procedían de la demolición de un muro portante de ladrillos; por lo cual, los materiales encontrados fueron mortero de cemento y ladrillos de arcilla. Este último en mayor porcentaje a simple vista.

Para esto se realizaron los siguientes ensayos (Ensayo de variación y dimensiones, ensayo de resistencia a la compresión, ensayo de absorción y porcentaje de vacíos los cuales permitieron dar las siguientes conclusiones

Los residuos utilizados (Material de demolición no clasificado) proveniente de la demolición de un muro de ladrillos y mortero no fue el más adecuado, probablemente debido a la fragilidad de sus partículas.

Entre cada diseño se observa que la resistencia incrementa a medida que se agrega más cemento, por lo que con un nuevo diseño aumentando la cantidad de cemento sería técnicamente viable sin considerar el aspecto económico.

Los problemas de variabilidad en la altura de los ladrillos debido a los imperfectos de la máquina (4.41 %), podrían haber afectado en la notoria variabilidad de datos de resistencia a la compresión de cada unidad.

La absorción máxima promedio de los ladrillos de RCD (12.8 %) se encuentra

Ligeramente por encima de la de los ladrillos de concreto (12 %), pero por debajo de los ladrillos de arcilla (22 %) debido a que la composición de los agregados es una mezcla de residuos de mortero y ladrillos.

Para aumentar la resistencia sin modificar el diseño se puede reducir la cavidad de los huecos, es decir reducir el volumen de vacíos. Otra manera de aumentar la resistencia puede ser utilizando solo residuos de concreto de demolición, debido a que ahí se puede encontrar gravas a comparación de la arcilla de los ladrillos.

La consistencia de la mezcla probablemente funcione mejor con mayor cantidad de agua.

El problema es que el fraguado es muy lento (Unas 24 horas aproximadamente) para poder extraerlo de la máquina sin que se desmorone, provocando que el sistema de producción sea ineficiente en caso que se lleve a nivel industrial.

Finalmente se concluye que los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los ladrillos de 18 huecos fabricados con residuos de demolición no clasificados no alcanzaron los valores de resistencia mínima establecida por la Norma E.070 de albañilería. Por lo que se es necesario incrementar la dosificación de cemento para el tipo de residuo anteriormente mencionado.

Los residuos utilizados (Material de demolición no clasificado) proveniente de la demolición de un muro de ladrillos y mortero no fue el más adecuado, probablemente debido a la fragilidad de sus partículas.

Entre cada diseño se observa que la resistencia incrementa a medida que se agrega más cemento, por lo que con un nuevo diseño aumentando la cantidad de cemento sería técnicamente viable sin considerar el aspecto económico.

Los problemas de variabilidad en la altura de los ladrillos debido a los imperfectos de la máquina (4.41 %), podrían haber afectado en la notoria variabilidad de datos de resistencia a la compresión de cada unidad.

La absorción máxima promedio de los ladrillos de RCD (12.8 %) se encuentra ligeramente por encima de la de los ladrillos de concreto (12 %), pero por debajo de los ladrillos de arcilla (22 %) debido a que la composición de los agregados es una mezcla de residuos de mortero y ladrillos.

Para aumentar la resistencia sin modificar el diseño se puede reducir la cavidad de los huecos, es decir reducir el volumen de vacíos. Otra manera de aumentar la resistencia puede ser utilizando solo residuos de concreto de demolición, debido a que ahí se puede encontrar gravas a comparación de la arcilla de los ladrillos.

La consistencia de la mezcla probablemente funcione mejor con mayor cantidad de agua. El problema es que el fraguado es muy lento (Unas 24 horas aproximadamente) para poder extraerlo de la máquina sin que se desmorone, provocando que el sistema de producción sea ineficiente en caso que se lleve a nivel industrial.

Finalmente se concluye que los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los ladrillos de 18 huecos fabricados con residuos de demolición no clasificados no alcanzaron los valores de resistencia mínima establecida por la Norma E.070 de albañilería. Por lo que se es necesario incrementar la dosificación de cemento para el tipo de residuo anteriormente mencionado.

## **5.16 Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos**

García y otros (2016) En su tesis para generar un procedimiento técnico que permita establecer directrices para el uso óptimo del RAP en proyectos viales urbanos y proponer una metodología de uso de RCD RAP, como nuevas capas constituyentes dentro de la estructura de pavimento. Contribuye a través del aporte, realizando la investigación de RCD con una mezcla rápida con la adición o no de agregados pétreos de aporte y emulsión asfáltica, de asfalto espumado y para la conformación de bases y sub bases granulares.

Para un óptimo aprovechamiento de los RCD RAP, se requiere de una actualización de la Normativa Técnica para materiales de construcción y de conservación que se maneja en el Distrito, puesto que las actuales especificaciones se encuentran direccionadas en su mayoría al uso de materiales nuevos o convencionales.

El no aprovechamiento de los materiales tipo RCD RAP, puede generar: - Desperdicio de materiales, al no tener un control de reutilización obligatorio de los volúmenes de pétreos que salen de las obras Vs los agregados de ingreso, con base en lo establecido en la etapa de diseño o diagnóstico de pavimentos. - Mayores costos globales para la intervención de obras viales, - Sobreutilización de canteras y escombreras, generando un uso desmesurado de sitios para utilización y disposición de materiales, así como una mayor afectación del medio ambiente. Con un aprovechamiento adecuado de los RCD RAP, se tiene la posibilidad de ejecutar un número mayor de segmentos viales, ya que Se van a reducir ítems como la compra de materiales nuevos o convencionales así como el transporte.

Las actividades de fresado o demolición de carpetas asfálticas, que vayan a ser parte de una estabilización in-situ, deberán tener un procedimiento técnico definido ya sea en los pliegos

de condiciones o anexo técnico de cada proyecto, para que los mismos tengan una condiciones de uso, de acopio de materiales y de transporte definidas, esto con la finalidad de evitar contaminación o saturación de los RCD RAP.

Como conclusión de la actividad correspondiente a la identificación de proyectos en donde se haya realizado reutilización de materiales con RCD RAP, es importante tener en cuenta que para que el procedimiento de reciclaje y estabilización con materiales bituminosos sea satisfactorio, es importante tener en cuenta factores tan determinantes como el clima, los equipos utilizados, la compactación de materiales, así como los procesos de curado. El material reciclado utilizado para la elaboración del fresado estabilizado no cumple con las especificaciones técnicas INVIAS aplicables para pavimento reciclado, ya que este posee una distribución de tamaños variables, que no siguen un comportamiento predecible, dado los diferentes factores que lo controlan, tales como: tipo de mezcla, condiciones del pavimento existente envejecimiento, edad, patología y grado de contaminación, maquina fresadora, entre otros.

### **5.17 Ventajas y usos del concreto reciclado**

Guacaneme (2015) Afirma que el concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, en consecuencia los residuos de concreto son unas de las principales fuentes de residuos en el mundo. El alto volumen de residuos de construcción y demolición constituye un problema ambiental grave. En los Estados Unidos se estima que hay alrededor de 140 millones de toneladas, Eurostat calcula que en total para Europa está al alrededor de los 970 millones de toneladas/año, lo que representa casi 2 toneladas. Estas cifras deben ser consideradas como estimaciones bajas, ya que estos tipos de residuos se vierten a menudo ilegalmente y los datos también son difíciles de interpretar debido a los diferentes mecanismos de información de los

distintos países en Ciudades como Bogotá, Cali, Medellín se estimaron en conjunto, una cantidad de RCD de 21,5 millones de toneladas año para el años 2012.

El problema ambiental que platean los residuos de construcción y demolición, comúnmente denominados escombros y a partir de ahora RCD, se deriva no solo del creciente volumen de generación, sino de su tratamiento. Entre los impactos ambientales que estos provocan, cabe destacar la contaminación del suelo, acuíferos y el deterioro paisajístico.

Como referencia importante encontramos que en China, la gestión de los residuos de RCD fue promovido y puesto bajo escrutinio por la ley de prevención de la contaminación ambiental producida por lo residuos sólidos. En Alemania, de acuerdo con el ciclo cerrado y la gestión de residuos, todas las partes involucradas en el ciclo de materiales de construcción son responsables de los residuos resultantes y de su uso. En Japón la ley de reciclaje de construcción requiere que los clientes y contratistas produzcan acuerdos que obliguen a la clasificación y actividades de reciclaje para los proyectos y materiales particulares.

(Guacaneme F. A., 2015) Identificó que algunos de los usos del RCD en la industria son tales como en subbases y bases granulares, en la conformación morfológica de terrenos mineros, en concreto estructural y pavimentos rígidos.

En Colombia, la cantidad de residuos de construcción y demolición que son aprovechables son muy bajos, en comparación a los Estado Unidos, China, Japón, Australia y distintos países Europeos, ya que solo en Bogotá es de cumplimiento obligatorio para las obras publicas y privadas el reciclado de RCD, reglamentado por el Decreto 1115 de 2012.La normatividad en diferentes países del mundo promueve de manera efectiva el uso de los RCD, hasta el punto de obtener porcentajes muy altos de reutilización. La creciente demanda de uso del concreto, tendrá impactos sobre el medio ambiente, que tendrán que tener en cuenta la

Autoridades Ambientales, para poder mitigarlos. En Colombia se deberán implementar lineamientos ambientales y técnicos para el tratamiento y aprovechamiento de RCD, los cuales incluyan a los generadores, transportadores y los que realicen tratamiento y/o aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición. Es de aclarar que Bogotá, si cuenta con su propia legislación al respecto y que su objetivo es reducir, reutilizar y reciclar los RCD para convertirlos en productos que generen un valor agregado al sector de la construcción.

Las entidades públicas y privadas de la construcción en Colombia, deberán Incentivar a los constructores, para fomentar el reciclado y/o reutilización de los materiales contenidos en los residuos, ya que la reutilización de RCD, tiene ventajas tanto ambientales, económicas y de durabilidad de los materiales, que por sus diferentes usos se convierte en una de las tecnologías actuales con más futuro en el mercado.

En Colombia se debe avanzar con la investigación y desarrollo de la durabilidad de RCD, otros productos generados a partir de este y otras aplicaciones de los RCD, que contribuyan al desarrollo de la norma para garantizar el uso responsable de los nuevos productos a partir de los RCD y desarrollar incentivos a la utilización de los RCD.

#### **5.18 Utilización de arenas procedentes de residuos de construcción y demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería.**

Martínez (2014) En esta investigación estudió el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, al sustituir parte de la arena convencional por arena reciclada en diferentes porcentajes. Para ello se caracterizaron las arenas recicladas procedentes de las centrales de reciclaje y se realizaron ensayos con el fin de comparar las propiedades de los

morteros tradicionales con los morteros elaborados con arena reciclada. La dosificación del mortero utilizada ha sido 1:3:0,5, y los porcentajes de sustitución de arena normalizada por arena

Reciclada fueron de: 10%, 15%, 25%, 35% y 45%, para los tres tipos de arenas recicladas empleadas en este estudio, dos arenas procedentes de la línea de reciclaje de hormigón y una de la línea de reciclaje cerámica.

Los resultados indican un aumento en la demanda de agua para obtener morteros trabajables, siendo necesario el empleo de aditivos a partir del 10% de sustitución. Las resistencias mecánicas obtenidas en los morteros reciclados son superiores en el caso de a flexión y ligeramente inferiores en compresión. Tanto en el ensayo de adherencia como en el de retracción, los morteros reciclados presentan un peor comportamiento que los morteros tradicionales, pero sin evidenciar pérdidas significativas en dichos valores, por lo que los morteros de cemento para albañilería con dosificación 1:3:0,5 pueden incorporar hasta un 45% de árido reciclado sin que sus principales características se vean afectadas.

En este trabajo se ha planteado un programa experimental con el fin de estudiar cómo afecta la incorporación de áridos reciclados a las propiedades de los morteros de cemento. A continuación, se indican las conclusiones más importantes obtenidas de dicho estudio:

Las características de los tres tipos de arenas recicladas son su elevado contenido en finos y de partículas retenidas en el tamiz 4mm, así como una elevada absorción de agua. A partir del 10% de sustitución en cualquiera de las tres arenas recicladas, ha sido necesario incorporar aditivo para obtener consistencias que permitan morteros reciclados trabajables. Las prestaciones mecánicas de los morteros reciclados son inferiores a la de los morteros de referencia en el caso de la compresión, y superiores en el caso de la flexión para los tres tipos de arenas recicladas. En el caso de la resistencia a la compresión, las resistencias obtenidas son suficientes para el

cumplimiento de las normas EN para su utilización en obra, tanto como morteros de albañilería como morteros para revoco y enlucido.

En los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, la resistencia a la adhesión es inferior que en los morteros de referencia. La arena 1, perteneciente a la línea de reciclaje cerámico es la que presenta valores más bajos. Sin embargo, las arenas 2 y 3 que pertenecen a la línea de reciclaje de hormigón presentan valores de resistencia a la adhesión muy próxima a los morteros de referencia. Debido al buen comportamiento a flexión y adherencia que presentan los

Morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, pueden ser utilizados para revestimientos continuos en fachadas.

Los valores de retracción obtenidos en los morteros reciclados muestran valores superiores a los morteros de referencia, sin embargo, dichos valores se encuentran dentro de los límites establecidos por los fabricantes. En principio, la colocación en obra sería igual a la de los morteros tradicionales, teniendo en cuenta el % de humedad.

Como conclusión final, los morteros de cemento pueden incorporar hasta un 45% de arena reciclada de los tres tipos estudiados, sin evidenciar pérdidas significativas en los ensayos realizados en este trabajo.

## **6. Marcos de referencia**

### **6.1 Marco Teórico**

#### **6.1.1 Residuos de construcción y demolición RCD.**

Se refiere a los Residuos de Construcción y Demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo. Estos RCD son susceptibles de aprovechamiento cuando se trata de:

- ❖ Materiales producto de excavación, nivelaciones y sobrantes de la adecuación del terreno: tierras y materiales pétreos no contaminados productos de la excavación.
- ❖ Productos o materiales usados para cimentaciones y pilotajes: Arcillas, bentonitas y demás.
- ❖ Materiales pétreos como hormigón, arenas, gravas, gravillas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos.
- ❖ Materiales no pétreos como vidrios, aceros, hierros, madera, plásticos, metales, cartones, yesos, dry wall. (Ambiente, 2015)

#### **6.1.2 Proceso de reciclaje de escombros para el diseño de concreto.**

Cuando una carga de escombros llega a la planta de reciclaje, normalmente llega con muchos tipos de residuos mezclados: se pueden encontrar desde ladrillos, hormigón, restos de cerámica, hierros, maderas, plásticos, cartones y envases. Las plantas de tratamiento se han desarrollado para poder reciclar todo el material producido por la sociedad, ya que estos se acumulan diariamente.

- ❖ Recepción del material Es el primer paso. El camión con la carga del residuo llega a planta, donde es pesado, identificado y se anota su procedencia.

- ❖ **Separación de residuos** En una primera selección, se separan los residuos más voluminosos e impropios, como maderas, hierros, cartones y plásticos. Obviamente, los residuos de menor, tamaño no se pueden quitar en esta fase y siguen en la cadena junto a los escombros, tierras.
- ❖ **Tromel** Este tambor es un cilindro metálico formado por mallas o chapas perforadas que gira sobre su eje: el resultado es un cribado de material, que consigue separar los sólidos por tamaño.
- ❖ **Separación neumática** Es un equipo que emplea chorros de aire para separar los residuos menos densos o pesados de los más densos o pesados. En una planta de reciclaje de escombros, lo que consigue esta etapa del proceso es separar los restos de plástico, cartón y papel de las tierras, piedras y escombros.
- ❖ **Separación magnética** Este es un equipo que consiste es un potente imán que atrae todos los restos y materiales férricos del montón de escombros mientras avanzan a través de una cinta transportadora.
- ❖ **Clasificación manual** Los residuos siguen su viaje a través de la cinta transportadora, donde pasa por la fase de clasificación manual. En esta, varios operarios se encargan de inspeccionar el material y separarlo según tipos.
- ❖ **Trituración** El último paso, es triturar todos los residuos a diferentes tamaños, según el objetivo de utilización que tenga la partida en cuestión. (Recytrans, 2014)

### **6.1.3 Generación de escombros.**

Hoy por hoy la procedencia de los escombros se genera gracias al desarrollo poblacional y en materia de mejorar la calidad de vida de los seres humanos, haciendo que las construcciones en nuestro país sean cada vez más frecuentes y de mejor calidad, generando la creación de nuevos

escenarios a nivel empresarial, universitarios, centros sociales, alcantarillados, acueductos, mejorándolas y creando nuevas ideas en materia constructiva. Los residuos dejados por este desarrollo constructivo que se forja diariamente en nuestro país lo clasificaremos y seleccionaremos de la manera más adecuada.

#### 6.1.4 Clasificación de escombros.

Son residuos de construcción, se depositan regularmente en una escombrera, estos causan un daño alto al medio ambiente, su composición y propiedades lo hacen un tipo de residuo perjudicial ya que contienen agentes químicos, estos proceden de demolición de edificios viejos, viviendas, Remodelación de estructuras, construcción de nuevas estructuras, producen daños a la fauna y flora del sitio donde se alojen ya que la mayoría de lugares son ilícitos y no son los adecuados para este material, ahora bien estos materiales son dejados también cerca a fuentes hídricas, las cuales con el tiempo llegan a ríos y cauces lo que produce un daño mayor a la vida acuática. Los RCD se pueden caracterizar por su Granulometría y procedencia

#### Clasificación de los RCD.

Los RCD pueden ser clasificados en dos grupos, según su procedencia y naturaleza, tal como se detalla a continuación:



Figura 1. Clasificación de los RCD.

Fuente. (Carrasco R. , 2018)

Según su procedencia:

- ❖ Residuo de derribo o demolición: considera toda materia u objeto procedente de estructuras que han cumplido su vida útil, provenientes de liberaciones, demoliciones y desmontajes, que conllevan un nivel de riesgo.
- ❖ Residuo de construcción: toda materia u objeto originado en cualquier proceso constructivo, ya sea una obra nueva, rehabilitación o reparación. - residuo de excavación: se considera a toda materia u objeto que es generado en todo trabajo de excavación, previo al inicio de una obra.

Según su naturaleza:

- ❖ Residuo inerte: toda materia u objeto considerado generalmente como no peligroso, que no experimenta transformación física, química o biológica.
- ❖ Residuo no especial: toda materia u objeto que, luego de ser tratado, puede ser almacenado sin necesitar un cuidado especial.
- ❖ Residuo especial: toda materia u objeto Proveniente de todo lo producido en la industria que, por sus características de alto riesgo, requieren un tratamiento y cuidado especial.

(Carrasco R. , 2018)

Ventajas de la reutilización de los escombros

- ❖ Pueden tener un menor precio con respecto a los materiales extraídos de cantera.
- ❖ Beneficia el medio ambiente ya que se reduciría el uso de recursos naturales.
- ❖ Reduciría el uso de las escombreras y mejoraría el paisaje.
- ❖ Tendría una ganancia monetaria la obra por el reciclaje de los escombros en sitio

Desventajas de la reutilización de los escombros

❖ La producción de mortero y hormigón pueden llegar a tener una calidad inferior con respecto a los agregados naturales, por lo tanto se debería de aplicar algún aditivo o producto para mejorar su calidad.

❖ El costo de la transformación de escombros a materia prima utilizada para la construcción debido al precio y mantenimiento de la maquinaria

### **Muro Estructural**

Este sistema está básicamente fundamentado en la construcción de muros colocados a mano, de perforación vertical, reforzadas internamente con acero estructural y alambres de amarre, los cuales cumplen todas las especificaciones propuestas en el Título D de la NSR – 10. (Argos360, 2019).

### **Muro Divisorio**

Son aquellos que al separar los espacios no soportan las cargas estructurales y son generalmente ligeros. Según sus materiales, hay dos tipos: estructurales, que son recubiertos de diversos productos y muros de mampostería, y aglutinantes de constitución ligera, que deberán contar con cualidades térmicas, acústicas, impermeables, de acuerdo a las necesidades y actuar ya interna o externamente en variados espacios; pueden ser prefabricados o hechos en obra. (Genaro, 2020)

Por la forma de colocación de los muros Pueden ser:

a) utiliza como muro divisorio y es aquel en el cual los tabiques se acomodan por su parte más angosta.

b) Muro al hilo: se le da este nombre al muro cuya disposición de elementos se hace en el sentido longitudinal.

c) Muro a tizón: Este tipo de muro es a la inversa de la anterior, puesto que los tabiques se colocan en forma transversal, presentando también caras interiores y exteriores.

d) Muro combinado: como su nombre lo indica es la combinación de los tres anteriores.

e) Muro hueco: es aquel que se utiliza como aislante, ya que la colocación de los tabiques forma huecos interiores o cámara de aire. Este tipo de muro

f) Construirse al hilo, capuchino, a tizón o combinado. Existen otros tipos de muros que se usan como elementos decorativos, divisorios o de revestimiento, construyéndose generalmente adosado a los Muros de carga. (Genaro, 2020).

### **Tipos de muros clasificación de acuerdo a su función**

De carga, para aislar, para separar, para decorar y para contener. Clasificación de muros por su trabajo mecánico: Cargar, dividir, contener o retener Clasificación de muros por su posición: Interiores y exteriores.

#### **Plaqueta prefabricada**

Son un elemento estructural previamente fabricado en concreto el cual cuenta con 3 cm de espesor, que junto a otras se colocan de manera vertical tal como si fueran un rompecabezas y son sujetadas por un par de perfiles metálicos para formar una pared.

### **Clasificación de elementos prefabricados:**

Según peso y dimensiones: Según el peso y las dimensiones de las piezas prefabricadas, se pueden clasificar en:

- ❖ Prefabricados Livianos; Son los pequeños elementos prefabricados o ligeros, de peso inferior a los 30 kg, destinados a ser colocados de forma manual por uno o dos operarios.

- ❖ Prefabricados Semipesados: Su peso es inferior a los 500 kg, destinados a su puesta en obra utilizando medios mecánicos simples a base de poleas, palancas, malacates y barretas.

- ❖ Prefabricados Pesados: Su peso es superior a 500 kg, requiriéndose para su puesta en obra, maquinaria pesada tales como grúas de gran porte.

- ❖ Bloques: Son elementos prefabricados para construcción de muros. Son auto estable sin necesitar de apoyos auxiliares para su colocación. Por ejemplo: bloques de hormigón, bloques de ladrillo hueco, etc.

- ❖ Paneles: Los paneles constituyen placas cuya relación entre grosor y superficie es significativa. Por ejemplo: muros de contención, antepechos, placas de fachadas, placas de yeso, etc.

- ❖ Elementos Lineales: Son piezas esbeltas, de sección transversal reducida en relación a su longitud. Por ejemplo: vigas, columnas, pilotes, etc.

Según Materiales: Las estructuras prefabricadas se pueden ejecutar con cualquier material estructural, por ejemplo:

- ❖ Hormigón Armado
- ❖ Hormigón Pretensado
- ❖ Hormigón Postensado
- ❖ Acero
- ❖ Aluminio
- ❖ Madera
- ❖ Plástico

### **Concreto**

En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos),

agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra Artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Guzman, 2001).

### **Durabilidad del concreto.**

La durabilidad del concreto está enmarcada por factores determinantes en el desarrollo de una construcción civil, ya que las calidades de los materiales la mano de obra calificada y una adecuada organización de trabajo darán como resultado la creación de un concreto de buenas características, además teniendo en cuenta la protección para este ya que estará sometido a grandes variaciones del ambiente dependiendo del sitio en donde se encuentre y esta será determinante para la perdurabilidad del mismo. 25 Además de dosificación también es importante el mezclado, la forma de instalación en las formaletas, el curado y la compactación de este para desarrollar las características completas de un concreto, obteniendo resistencia mecánica, acabados correctos y resistencia a la compresión. Así mismo el concreto luego de completar el proceso de fraguado esta irá aumentando su resistencia día tras día, aunque este aumento irá disminuyendo durante un periodo de tiempo (Nicolas, 2016)

A continuación se mostrara un concepto sobre los factores de durabilidad del concreto: Los factores determinantes de la durabilidad de una estructura de concreto están : el diseño y cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo) ; los materiales empleados (concreto, acero y productos de protección); las practicas constructivas (calificación de la mano de obra y control de calidad); y , los procedimientos de protección y curado (concisiones de humedad y temperatura), si la capacidad resistente es rebasada , hay deformaciones impuestas u otro tipo de acciones mecánicas (p.e.

Impactos, vibración, abrasión, etc.)1 El texto anterior es muy acertado en los factores a tener en cuenta, ya que en muchos casos no todos son aplicados por las empresas dedicadas a la

construcción. La mano de obra calificada es muy importante a la hora de desarrollar un proyecto civil, por lo que no se deben de escatimar gastos en ella ya que una mano de obra de baja calidad puede provocar gastos de más por falta de experiencia. Además otro factor muy importante es el uso del acero de refuerzo en la estructura, este es necesario y debe usarse de buena calidad y no rehusados ya que estos tienen muy poca fiabilidad, por su reducida capacidad de resistencia además de que este ha sufrido fatiga por estructuras anteriores y es un riesgo alto, por lo cual la estructura puede presente fallas futuras, además de usar la cuantía de aceros requeridas en el diseño inicial del proyecto y no reducirla. (Nicolas, 2016)

### **Propiedades de un concreto.**

Las propiedades y características de un concreto son básicamente cuatro, dentro de las cuales tenemos:

- ❖ **Trabajabilidad:** Es la facilidad con que se puede realizar la mezcla de los ingredientes, y a la vez que esta conserve sus propiedades para su respectivo manejo antes de ser aplicada.
- ❖ **Cohesividad:** Esta propiedad depende en su gran mayoría de la cantidad de agua que sea aplicada a la mezcla.
- ❖ **Resistencia:** Esta propiedad debe de ser realizada con sumo cuidado ya que es una de las más importantes para supervisar la calidad del concreto terminado, por lo general se realiza una prueba de compresión a los 28 días para determinar y garantizar la resistencia de este.
- ❖ **Durabilidad:** El concreto debe ser protegido, previamente contra agentes químicos y/o ambientales a los cuales estará expuesto durante su tiempo de servicio.

### **Ensayos de concreto endurecido.**

Ensayo de resistencia a la rotura por compresión El ensayo de resistencia a la rotura por compresión encierra varios factores los cuales se deben de tener en cuenta, desde el momento en

que se realiza la mezcla hasta el día en que se falla, el diseño de la mezcla es muy importante ya que se deben de contar con los ensayos de asentamientos por medio del cono de Abrahams y las dosificaciones especificadas de acuerdo a la necesidad del proyecto que se quiera realizar, dependiendo de esto se obtendrán las resistencias más adecuadas, dependiendo de la cantidad de días que se deje curando el concreto.

Completando el tiempo necesario de cura estos son sometidos a cargas por compresión, realizando este ensayo se pueden obtener resultados de deformación del concreto por medio de un deformímetro y las maquinas hoy en vienen con un sistema de discos de Neopreno los cuales reemplazan los antiguos sistemas de azufre, grafito y polvo calcáreo, las cuales hacen que el ensayo sea mucho más práctico y a la menor brevedad posible

### **Agregados**

Los agregados son materiales adicionales que se agregan a la mezcla, mejorando su resistencia a la compresión y a la vez la hace mucho más compacta.

A continuación, citaremos la siguiente definición:

Se entiende por agregados a una colección de partículas de diversos tamaños que se pueden encontrar en la naturaleza, ya sea en forma de finos como arenas y gravas o como resultado de la trituración de rocas. Cuando el agregado proviene de la desintegración de las rocas debido a la acción de diversos agentes naturales se llama agregado natural, y cuando proviene de la desintegración provocada por la mano del hombre se le puede distinguir como agregado de trituración, pues este método es el que generalmente se aplica para obtener el tamaño adecuado

El aporte del autor Jorge Gómez Domínguez es muy acertado, ya que la mayoría de agregados son encontrados por medio de la desintegración de la roca. Pero también se encuentran

agregados en los ríos, los cuales son materiales limpios que tienen muy buenos aportes en las aplicaciones de ingeniería.

### **Tipo de agregados**

Los agregados son materiales que proveen la facilidad de desarrollar actividades en la Ingeniería civil, ya que se utilizan comúnmente para la creación de estructuras en concreto, estos se encuentran en diferentes tamaños y formas dependiendo de las necesidades del proyecto, así mismo se emplearan los agregados más adecuados.

A continuación, se mostrará el siguiente párrafo el cual habla de la procedencia de estos agregados:

“Estos productos se obtienen extrayendo rocas y triturándolas hasta llegar al tamaño deseado. En el caso de las arenas manufacturadas, el producto se obtiene de la trituración de la roca hasta que se consigue la forma o textura deseada, asegurando que se cumplan las especificaciones del producto y del proyecto. Las fuentes de roca triturada pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas” (Nicolas & Marlon , 2016).

El anterior párrafo muestra que estos agregados son de gran utilidad para el desarrollo de obras civiles, de acuerdo a la necesidad del proyecto, así mismo se utilizaran los tipos de agregados adecuados para desarrollar las metas planeadas.

### **Agregado fino.**

El agregado fino es muy utilizado en el campo de la construcción esta es constituida principalmente por la arena, ayuda a mejorar las calidades de acabados y ayuda a que la mezcla se haga más compacta y duradera. Dependiendo de la arena que se utilice para la mezcla así mismo será la calidad del mortero, porque si la arena no es de muy buena calidad hará que este sea quebradizo tiempo después de secar la mezcla.

## **Agregado Grueso**

Este material es extraído de canteras y lugares naturales, está compuesta de gravas de diversos tamaños generalmente compactas que ayudan a transmitir resistencia a la mezcla de cemento, además de reducir la cantidad del mismo y mejorando las propiedades, esta es empleada principalmente para aplicarse a las columnas, vigas y cimientos de una construcción ya que son las encargadas de soportar las cargas principales. (Ingeniero civil, 2011)

### **Propiedad de los agregados**

#### ❖ Granulometría

La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

#### ❖ Forma de las partículas

El termino hace referencia a las formas que los agregados pueden obtener a lo largo del tiempo, diversos motivos hacen que estos tomen formas irregulares ya sean cuadradas, rectangulares, redondeadas, semiredondeadas.

### **Impacto Ambiental Positivo**

Son actividades positivas en el medio ambiente, ya que ayudan a restaurar un ecosistema dañado con el objetivo de recuperarlo, o ayudan a conservar en gran porcentaje las características naturales de un paisaje no deteriorado por el hombre. Los impactos positivos pueden ser temporales o persistentes y reversibles o irreversibles.

Ejemplos de impactos positivos, son:

- ❖ La reforestación tras actividades económicas, incendios forestales naturales o producidos y sequías severas.
- ❖ La incorporación de energías renovables como energía eólica, energía solar, energía hidráulica, etc.
- ❖ La implementación de planes de manejo y clasificación de residuos para evitar afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas (Bioenciclopedia, s.f.).

### Ensayo de los agregados

Los ensayos a los agregados son muy importantes, ya que determinara la resistencia que estos contienen en el momento, además de dar las aplicaciones más adecuadas a cada tipo de agregado. También se podrán determinar los tamaños y distribución de las partículas de los agregados, esto por medio de diferentes tamices.

**Cuadro 2. Resistencia a la compresión de rocas de uso común como agregados del hormigón.**

Tipo de Roca	No de Muestras	Promedio	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Después de suprimir los extremos	
			Máxima	Mínima
Granito	278	1895	2622	1167
Felsita	12	3294	5364	1223
Trapeana	59	2949	3846	2053

Tipo de Roca	No de Muestras	Promedio	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Después de suprimir los extremos	
			Máxima	Mínima
Piedra caliza	241	1701	2454	949
Arenisca	79	1448	2447	450
Mármol	34	1505	2489	520
Cuarcita	26	2788	4310	1266
Gnesis	36	1677	2397	956
Esquisto	31	1979	3030	928

Fuente. (civil, 2010)

## **7. Metodología**

En esta investigación se recopiló información acerca del rol que tiene la composición del concreto adicionando residuos de construcción y demolición (RCD). Para esto se presenta a continuación la metodología del trabajo que busca alcanzar los objetivos propuestos.

### **7.1 Diseño de la investigación.**

La metodología utilizada en la investigación relaciona inicialmente la visión general de los actores involucrados en la gestión de residuos de la ciudad de Girardot, identificando que la información para contextualizar la problemática de los RCD era muy escasa. También se llevó a cabo un diagnóstico de los sitios o botaderos a cielo abierto en donde se están depositando actualmente los RCD sin ningún control, identificando un serio problema social, ya que hay quienes realizan estas inadecuadas disposiciones. Lo anterior nos permitió identificar el estado en la gestión de los RCD en la ciudad de Girardot y plantear, a modo de diagnóstico, el contexto en el cual se presenta la problemática.

Por consiguiente, se llevó a cabo una investigación de carácter cuantitativo, ya que permite conformar una base de información a partir de estudios relacionados, artículos y lecturas de diversas fuentes, que permita contar con información para el diseño de un concreto apto para la elaboración e instalación de plaquetas prefabricadas. El análisis de la información buscó conocer el tipo de materiales de RCD utilizados en los diferentes artículos científicos, tesis e investigaciones, verificando la metodología experimental, el análisis y el desarrollo del tipo de elemento prefabricado. Se prestó particular atención en el resultado obtenido con el aprovechamiento del RCD como materia prima, adoptando conocimientos y fundamentos para el desarrollo de la investigación propuesta.

## 8. Análisis de resultados y discusiones

- **RELACION DE LA DOSIFICACION**

Según Cruz y Moreno (2013) en su trabajo de tesis realizaron dos probetas en las que adicionaron un 20% y 40% de agregado grueso reciclado a la mezcla. En el trabajo realizado por Vera (2016) se llevó cabo una dosificación del 100% del agregado grueso reciclado. Según Carrasco (2018) en su trabajo de construcción de elemento prefabricado como lo es el bloque reemplazando parcialmente el agregado natural por el agregado reciclado dice que es el mejor. Por último, Bedoya (2015) realizó tres diferentes dosificaciones las cuales son 25%, 50% y 100% de agregados reciclados. Concluyendo se evidencia que las dosificaciones más óptimas y viables son las del 20% - 25% ya que es la cantidad requerida para elementos no estructurales según la norma y no presenta módulo de rotura con estos porcentajes.

- **ANÁLISIS DE COMPRESIÓN**

Conforme a la investigación realizada por Cruz y Moreno (2013) encontraron resultados óptimos en cuanto a la resistencia a la compresión los cuales fueron 3630 Psi – 3578 Psi respectivamente frente a sus dosificaciones, frente al trabajo de tesis realizado por Vera que obtuvieron una resistencia a la compresión de 2556 Psi ya que el remplazo fue parcial de los agregados. La resistencia obtenida en el laboratorio no alcanzó la resistencia teórica lo que indica que es probable que sea necesario mezclar los agregados procedentes de los escombros de concreto con porcentajes de agregados naturales, pero se ha reflejado una disminución del 70% frente a la resistencia de 3630 psi que se encuentra en el trabajo de tesis de Cruz y Moreno (2013).

- **FRAGUADO**

El fraguado inicia con la pérdida de viscosidad, por lo cual en cada autor usa un determinado tiempo para conocer el proceso de endurecimiento del concreto. Vera y Cuenca (2016) toman como referencia para su respectiva fractura de los cilindros unos tiempos de 7, 14 y 28 días. Carrasco (2018) falló sus bloques a los 7, 14, 21 y 28 días. Pérez (2014) utilizó periodos de tiempo de 14 y 28 días. Bedoya y Dzul (2015) tomaron 3, 7, 14, 28, 56 y 91. Osorio y Rocha (2015) solo tomaron como referencia los 28 días. Rocío y Poveda (2015) se guiaron por 7, 15 y 28. Tomando como referencia estos datos, permiten que conocer a través de cada uno de estos periodos de tiempo su deformación por las cargas aplicadas, comenzando con el proceso de endurecimiento y mostrando como va contrarrestando la resistencia mecánica. Para el final de este fraguado tener el conocimiento si se deben usar aditivos que controlen la velocidad de secado y de cómo reacciona a factores como la temperatura y su proceso de endurecimiento.

- **COSTO**

Osorio y Rocha (2015) hacen un análisis de costos en un  $m^3$ , tomando en cuenta los materiales necesarios para un concreto convencional el cual es de \$ 142.193,00 x  $m^3$  y uno con RCD \$129.608,00 x  $m^3$ , el cual muestra una disminución de \$ 12.585,00 x  $m^3$ , este representa una disminución en los gastos de inversión para un concreto, además de las ventajas en la reducción de la contaminación ambiental, el cual también se refleja en costos. Estos costos por  $m^3$  de cada concreto que se use, pueden generar un ahorro del 8,85 % al elaborar concretos con RCD en comparación con un concreto convencional.

- **RESISTENCIA A FLEXIÓN**

Vera y Cuenca (2016) en su ensayo a flexión tomando un 100% de RCD se encontraron con una diferencia de resistencia. Sus viguetas a 28 días dieron un valor de 3,2 Mpa dando un 10 % de la resistencia requerida. Por otro lado, Pérez (2014) dice que la resistencia que obtuvo fue de 3,6 Mpa, dando así un 11,25% de la resistencia requerida por normativa. Rocío y Poveda (2015) obtuvieron un resultado de 8 Mpa usando un 38% de material reciclado, siendo así un 25% de la resistencia que se requiere, mostrando que los materiales de RCD tienden a perder resistencia a flexión y se requiere llegar a un valor mínimo para dar el resultado óptimo.

Conclusión

- **DIAMETRO DE LOS AGREGADOS**

En la investigación de Cruz & Moreno (2016) Agregados para el concreto con RCD, para su diseño de mezcla utilizaron agregado grueso con Diámetro de  $\frac{3}{4}$  (19mm). Gonzalo Valdés (2011) en su tesis doctoral de hormigones con áridos reciclados utilizan agregado RCD de Diámetro de  $\frac{1}{2}$  (12mm). Pérez (2014) en su estudio de uso de agregados reciclados de construcción y demolición para ello lo llevo a cabo con agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ . Osorio & Rocha, (2015) en su monografía investigativa utilizan agregado grueso RCD de  $\frac{3}{4}$ , por otro lado, el autor Rocio & Poveda (2015) en su tesis de fabricación de adoquines en RCD, utilizan agregado grueso con Diámetro de  $\frac{3}{8}$ . Según estas investigaciones dentro de los análisis granulométricos y previos ensayos a los agregados se llega a concluir que el Diámetro con más viabilidad para la construcción y su utilización para las distintas aplicaciones es de  $\frac{3}{4}$ .

- **ABSORCION**

El autor Gonzalo Valdés (2011) evalúa las propiedades físicas y características de absorción del elemento para su investigación fue del 2,5%, para hormigones con áridos reciclados utilizan agregado RCD, según Vera & Cuenca (2016) para su trabajo de grado diagnóstico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado está en el rango de 3,88. Por otro lado, Pérez (2014) en su análisis de uso de agregados reciclados de construcción y demolición este porcentaje de absorción para ellos fue del 10,18%. Osorio & Rocha (2015), en su análisis de absorción obtuvieron un valor del 9%. Rocío & Poveda (2015) en su investigación de fabricación con RCD para adoquines adquieren un porcentaje de absorción en 5,35%. Se llega al análisis que el material RCD tiene más absorción que un agregado normal y que dependiendo del tipo de aplicación y del tamaño del agregado tendrá más absorción, como el adoquín por ser un elemento macizo, tiene mayor porcentaje de absorción.

## Referencias Bibliográficas

- Albornoz., G. M. (2019). !ALARMANTE! Colombia produce 22'000.000 DE TONELADAS de residuos de construcción y demolición RCD al año. pag.1.
- Alcaldia. (junio de 2017). Obtenido de [http://girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Actualizaci%C3%B3n%20del%20plan%20de%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3idos%20\(PGIRS\)%20de%20Girardot.pdf](http://girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Actualizaci%C3%B3n%20del%20plan%20de%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3idos%20(PGIRS)%20de%20Girardot.pdf)
- Secretaria Distrital de Ambiente, S. D. (2015). Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/es/web/escombros/conceptos-basicos>
- ARCINIEGAS, M. J. (2016). *Agregados para el concreto con materiales reutilizados. girardot*, en: <https://repository.uniminuto.edu>. Obtenido de <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/4869>
- Argos360. (2019). Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/usuarios-y-aplicaciones/mamposteria-estructural>
- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). "Concretos con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana", en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732015000200002](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732015000200002)
- Bioenciclopedia. (s.f.). Obtenido de <https://www.bioenciclopedia.com/impacto-ambiental-positivo-y-negativo-ejemplos/>
- Carrasco, R. (2018). *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de riobamba, análisis de costo e impacto ambiental* (Tesis de grado) Universidad Pontica Ecuador <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14857/TESIS%20MAS%202018%20%28RA%C3%9AL%20CARRASCO%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castellanos Giraldo Julio, Rivera Martínez Fredy, Roa Morales Miguel. (2017) *Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición (r.c.d.) como agregado*. (Tesis de grado), Universidad Católica de Colombia . [https://repositorio.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15275/2/RAE\\_Tesis%20especializacio%CC%81n%20RCD.pdf](https://repositorio.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15275/2/RAE_Tesis%20especializacio%CC%81n%20RCD.pdf)

- Cereceda. (2018). *Urbanización de viviendas y gestión ecoeficiente de residuos de construcción en Chile: aplicación del modelo español*. (Artículo)  
[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212019000300275#B41](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000300275#B41)
- Ingenieria civil, (2010). Obtenido de  
<https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/caracteristicas-de-los-agregados.html>
- Contraloria cundinamarca dejando huella . (2017). Informe anual del estado de los recursos naturales y del ambiente del departamento e cundinamarca 2017 (Informe) Contraloria de Cundinamarca  
[http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/002%20informes/008%20informe\\_anual\\_del\\_estado\\_de\\_los\\_recursos\\_naturales\\_y\\_del\\_ambiente\\_del\\_departamento\\_de\\_cundinamarca/2017/rs\\_conclusiones.html](http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/002%20informes/008%20informe_anual_del_estado_de_los_recursos_naturales_y_del_ambiente_del_departamento_de_cundinamarca/2017/rs_conclusiones.html)
- Cruz, M., & Moreno, N. (2016). *Agregados para el concreto con materiales reutilizados de la demolición de estructuras “pruebas de resistencia a la compresión*. (Tesis de grado) corporación universitaria minuto de dios.  
[file:///C:/Users/user/Downloads/T.IC%20CRUZ%20IBAGON%20MARLON%20JOSE%20CAMILO%20\(3\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/T.IC%20CRUZ%20IBAGON%20MARLON%20JOSE%20CAMILO%20(3)%20(1).pdf)
- Cruzado Ruiz, J. L. (2018). *Elaboración de ladrillos de 18 huecos tipo iv con residuos de demolición y cemento* (Tesis de grado) Universidad nacional agraria la molina facultad de ingeniería agrícola  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3544/cruzado-ruiz-jose-luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuenca Prada, C. A., & Vera Mosos, J. F. (2016). *Diagnostico para la elaboracion de concreto a partir de la utilizacion de concreto reciclado* (Tesis de grado) Universidad Piloto de Colombia  
<http://repositorio.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5799/TRABAJO%20DE%20GRADO%20PILOTO%20FINAL%20%20CRISTIAN%20CUENCA%20Y%20JHON%20VERA%20-%20CONCRETO%20RECICLADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cundinamarca secretaria de infra estructura Girardot. (2016). *tabla 2-20 generacion de escombros*. girardot cundinamarca.

- Elizabeth Cristina Jimenez Montero, H. M. (2016). *Aprovechamiento de los rcd en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos* (Tesis de grados) Universidad Católica de Colombia.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13905/4/Aprovechamiento%20de%20los%20RCD%20en%20proyectos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20conservaci%C3%B3n%20de%20pavimentos%20urbanos.pdf>
- Estadística de concreto premezclado DIAN. (16 de ABRIL de 2020). Obtenido de  
[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/concreto/Bol\\_concreto\\_feb\\_20.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/concreto/Bol_concreto_feb_20.pdf)
- García, J. A. (2012). <http://ambientebogota.gov.co/>. Obtenido de  
<http://ambientebogota.gov.co/documents/664482/0/Johao-Ariel-Cemex.pdf>
- Genaro, I. (2020). Muros divisorios de paneles y muros de concreto, en:  
[http://tecnicasenlaconstruccion.weebly.com/uploads/1/3/6/6/13669342/muros\\_de\\_paneles\\_y\\_de\\_concreto\\_irvin.pdf](http://tecnicasenlaconstruccion.weebly.com/uploads/1/3/6/6/13669342/muros_de_paneles_y_de_concreto_irvin.pdf)
- Gonzalo Valdés Vidal, Ó. J.-O. (2011). Aplicación de los residuos de.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/61910663.pdf>.
- Guacaneme, F. A. (2015). Ventajas y usos del concreto reciclado (Teis de grado) Universidad Militar Nueva Granada  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15151/GuacanemeLizarazoFabioAndres2015.pdf;jsessionid=6979C3E2905A5CD220BFA0124AD86EAD?sequence=1>
- Guzman, D. S. (2001). Tecnología del concreto y mortero. Bogotá.  
 Ingeniero civil. (2011). *Formas de las Partículas de los Suelos*. Obtenido de  
<http://uningenierocivil.blogspot.com/2011/03/formas-de-las-particulas-de-los-suelos.html>
- Jhon Fredy Vera Mosos, C. A. (2016). Diagnostico para la elaboracion de concreto a partir de la utilizacion de concreto reciclado (Tesis de grado) Universidad piloto de Colombia  
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5799/TRABAJO%20DE%20GRADO%20PILOTO%20FINAL%20%20CRISTIAN%20CUENCA%20Y%20JHON%20VERA%20-%20CONCRETO%20RECICLADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lopez, C. L. (2019).  
[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/91770/1/tesis\\_carlos\\_luis\\_rodriguez\\_lopez.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/91770/1/tesis_carlos_luis_rodriguez_lopez.pdf)
- Martinez. (2020). *MURO DE CONTENCIÓN TIPO GAVIÓN CON BOTELLAS PLÁSTICAS PET. TUNJA.*

Mónica Asleidy Cruz Veloza, O. A. (2013) *Influencia del Agregado Grueso Reciclado de Mampostería en el Comportamiento del Concreto Reciclado*. (Tesis de posgrado) Pontifica Universidad Javerina <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12676/CruzVelozaMonicaAsleidy2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Osorio, C., & Rocha, L. (2015). *Aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y demolición generados por un evento adverso para la construcción de obras civiles sostenibles* (Monografía investigativa) Universidad Católica de Manizale <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1139/Cristian%20Leonardo%20Rocha%20Osorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Perez, S. C. (2014). *Estudio del uso agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (rcd) provenientes de la ciudad de Cali como material para la construcción de elementos prefabricados de concreto, caso de los adoquines* [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3146/Articulo\\_cientifico.pdf?sequence=7&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3146/Articulo_cientifico.pdf?sequence=7&isAllowed=y)

Ramirez, J. (2014). *Instrumentos para el mejoramiento en la gestión de la política de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en Bogotá D.C. a partir de las percepciones de los constructores de obras públicas* (Proyecto de grado) <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13514/RamirezTobonJulioCesar2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Recytrans. (18 de 07 de 2014). Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-escombro/>

Rincon, J. C. (2020). *360enconcreto.com*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ecomuros-en-concreto-reciclado>

Rocio, Y., & Poveda, J. E. (2015). *Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante* (Tesis de grado) Universidad la gran Colombia <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4248/Monografia%20Sistema%20para%20Adoquines%20hipervinculada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Saiz Martínez, G. C. (2014). *Utilización de arenas procedentes de residuos de construcción y demolición, rcd, en la fabricación de morteros de albañilería*  
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/39163/14.pdf;jsessionid=5F2AC6173CF340DBB3D17A92EA572B9B?sequence=1>

Sindy Suárez, J. M. (21 de septiembre de 2018). *Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia) gestion y ambiente.*

file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-DiagnosticoYPropuestasParaLaGestionDeLosResiduosDe-6687508.pdf

Tobon, j. c. (2013-2014). *Instrumentos para el mejoramiento en la gestión de la política de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en bogota d.c. a partir de las percepciones de los constructores de obras publicas* Obtenido (Tesis de posgrado)  
Pontificia Universidad Javeriana  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13514/RamirezTobonJulioCesar2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Urzola, G. a. (octubre de 2016). *Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (rcd) generados en barranquilla d.e.i.p* (Tesis de posgrado)  
Pontificia Universidad Javeriana  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20473/BermejoUrzolaGustavoAdolfo2016.pdf?sequence=1>